الجمهورية العربية السورية
جامعة حلب
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الطبوغرافية



استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء أطلس الخرائط الحساسة للمدن الساحلية

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية (قسم الهندسة الطبوغرافية)

إعداد المهندسة

لما نزار معلا

بإشراف

الدكتورة المهندسة صونيا سركيس
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية
كلية الهندسة المدنية _ جامعة حلب

الدكتور المهندس إياد عباس
مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية
كلية الهندسة المدنية _ جامعة تشرين

حلب 2015

الجمهورية العربية السورية
جامعة حلب
كليــة الهندســة المدنية
قسم الهندسة الطبوغرافية

استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء أطلس الخرائط الحساسة للمدن الساحلية

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية (قسم الهندسة الطبوغرافية)

إعداد المهندسة
لما نزار معلا

بإشراف

الدكتورة المهندسة صونيا سركيس
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية
كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

الدكتور المهندس إياد عباس
مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية
كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين

1436هـ
2015م

جامعة حلب

كلية الهندسة المدنية

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الطبوغرافية من كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب.

المرشحة

المهندسة لما نزار معلا

(   )

جامعة حلب

كلية الهندسة المدنية

تصريح

أصرح بأن هذا البحث:

" **استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء أطلس الخرائط الحساسة للمدن الساحلية** "

(The Using of Geographic Information Systems to Establish Sensitivity Mapping ATLAS for Coastal Cities)

لم يسبق أن قبل للحصول على أية شهادة، ولا هو مقدم حالياً للحصول على أية شهادة أخرى.

المرشحة

المهندسة لما نزار معلا

جامعة حلب

كلية الهندسة المدنية

شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف بهذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قامت به المهندسة لما معلا تحت إشراف الدكتورة صونيا سركيس الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية كلية الهندسة المدنية في جامعة حلب والدكتور إياد عباس المدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

وأي رجوع لأي بحث آخر في هذا الموضوع موثق في النص.

الباحثة المهندسة

لما معلا

المشرفون

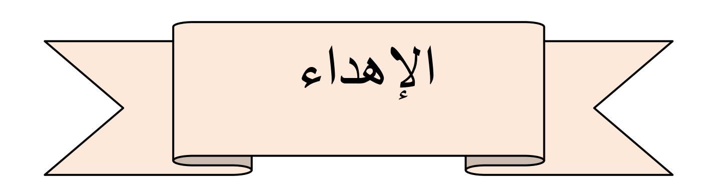
د.م. صونيا سركيس
أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية
جامعة حلب

د.م. إياد عباس
مدرس في كلية الهندسة المدنية
جامعة تشرين

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 9 \ 8 \ 2015

لجنة الحكم

الدكتور المهندس	الدكتور المهندس	الدكتورة المهندسة
ابراهيم عثمان	**يوسف كبية**	**صونيا سركيس**



إلى من زاده الغياب حضوراً ...... وزاده الموت خلوداً

إلى من ولد المجد على يديه وأينع النصر ثمراً برؤية عينيه

إلى من ألبس الوطن حلة الفخر وقلده وسام العزة والكبرياء

إلى روح القائد الخالد حافظ الأسد

إلى من حمل الرسالة بكل أمانة

إلى من سكن الوطن والشعب عقله وقلبه

إلى من قاد السفينة في أحلك الأوقات ولم يرضخ للإغراءات والضغوط

إلى سيادة الرئيس الدكتور بشار حافظ الأسد

إلى من أهدوا الوطن أعز ما ملكوا

إلى من كانت دماؤهم مداد المجد و عطر الوطن

إلى من تنحني لهم الهامات إجلالاً و احتراماً

إلى جميع الشهداء

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار

إلى رمز الرجولة والتضحية

إلى من دفعني إلى العلم وبه أزداد افتخاراً

إلى من أضاء لي الدرب .. ستبقى كلماتك نجوماً أهتدي بها اليوم وفي الغد وطالما حييت

أبي العزيز

إلى بسمة الحياة وسر الوجود
إلى من بوجودها أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها
إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي
إلى أغلى الحبايب

أمي الحبية

إلى شعلة الذكاء والنور
إلى من معه سرت الدرب خطوة بخطوة ومازال يرافقني حتى الآن
هذه الحياة بدونك لاشيء معك أكون أنا وبدونك أكون مثل أي شيء
في نهاية مشواري أريد أن أشكرك على مواقفك النبيلة

أخي مضر

إلى من أرى السعادة في ضحكتها
إلى من بمحبتها أزهرت أيامي
إلى الوجه المفعم بالبراءة
إلى الشمعة المتقدة التي تضيء ظلمة حياتي

أختي سالي

إلى ينابيع الصدق الصافي
إلى من معهم سعدت وبرفقتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة سرت
إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير
إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم

صديقاتي

إلى كل سوري شريف عمل بأمانة وإخلاص

الفهرس

ملخص الرسالة

شهدت العقود الأخيرة من القرن العشرين تطوراً كبيراً في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وانتشر استخدامها في معظم المجالات على تنوعها نتيجة فوائدها الجمة وإمكاناتها المتعددة الكبيرة، ورافق هذا التطور وعي لدى المجتمع البشري لمواضيع حماية كوكب الأرض وما يتصل بها من مفهوم الحساسية على اختلاف اتجاهاته وتعريفاته (الاقتصادي، الاجتماعي، البيئي، ..) وكيفية انعكاسه على الإنسان بالدرجة الأولى وعلى الكائنات الحية كلها بالدرجة الثانية، وما له من آثار سلبية خطيرة يجب التعرف عليها واتخاذ الإجراءات اللازمة إزاءها.

وأضحى استخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية في تحليلات الحساسية وإجراء الاستفسارات اللازمة فيما يخصها من أحدث الاهتمامات العلمية في الوقت الراهن وأصبح إنشاء أطالس الحساسية هدفاً رئيساً في مختلف البلدان.

قمنا في هذا البحث بدراسة مجالين من مجالات الحساسية في منطقة الساحل السوري وهما الحساسية لتلوث المياه الجوفية والحساسية للانهيارات الأرضية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية اعتماداً على تقنية "DRASTIC" والطريقة الإحصائية بهدف إنتاج خريطة الحساسية النهائية المتضمنة خمس درجات للحساسية على امتداد منطقة الدراسة.

الفصل الأول : أهمية البحث والدراسات المرجعية

1.1. مقدمة

تأتي أهمية منطقة حوض الساحل نتيجة مجموعة كبيرة وهامة جداً من المقومات الأساسية التي تتمتع بها بيئته الجغرافية الممتازة من مناخ معتدل ووفرة في الموارد المائية وتنوع في الغطاء النباتي، بالإضافة إلى وجود العديد من مصادر الثروات الطبيعية، وتتصل هذه المنطقة بالداخل السوري بعدد من الطرقات العامة المنطلقة من المدن الأساسية. كما تعد من أجمل مناطق البحر المتوسط وأكثرها جذباً للسياح بسبب شواطئها الرملية والمنشآت السياحية المتكاملة فيها، وبسبب المواقع الأثرية التي تشكل حافزاً كبيراً للسياحة الثقافية.

تؤثر عمليات التنمية الساحلية سلباً بالضغط على الموارد البشرية، والذي تنتج عنه أضرار مباشرة، وضغوط أقل مباشرة. ونظراً للكثير من العوامل أضحت المخاطر التي تحيط بمنطقة البحر الأبيض المتوسط كبيرة، وأصبح من المحتم اتباع استراتيجية للإدارة الساحلية على المستوى الوطني تهدف إلى تحديد وترتيب أولويات القضايا المتعلقة بإدارة السواحل على فترات طويلة الأمد. وهنا يبرز دور نظم المعلومات الجغرافية كأداة لتكامل جميع المعلومات ودعم اتخاذ القرار الأمثل في وضع استراتيجيات التخطيط لإدارة المناطق الساحلية وحمايتها من المخاطر المختلفة (تلوث المياه الجوفية، الانهيارات الأرضية وغيرها).

1.2. أهمية البحث وأهدافه

للبحث أهمية علمية وإدارية عالية تتحدد بالتالي:

- ✓ حاجة جميع مؤسسات الدولة وفعالياتها لتحديد المناطق ذات الحساسية (المعرضة لمخاطر تضعفها).
- ✓ ضرورة وجود الوعي والإدراك لدرجة الخطر والتأثيرات الناجمة عنها على الإنسان والطبيعة.

- ✓ دراسة الأثر البيئي Environmental Impact.
- ✓ إمكانية الاستفادة من البحث في اتخاذ القرارات حول استخدام الأراضي وتنميتها والاستجابة للمخاطر.
- ✓ تخطيط الحساسية كخطوة أولى في اتجاه تطوير أداة واسعة النطاق وسهلة الاستخدام وهي نظم المعلومات الجغرافية في مجال إنتاج خرائط الحساسية.

أما الغاية الأساسية من البحث فتتلخص باستخدام نظم المعلومات الجغرافية التي تسمح بالحصول على مجموعة (أطلس) الخرائط الحساسة للساحل السوري ليتم استخدامه من قبل الدوائر المحلية والبلديات بهدف التعرف على مناطق الخطر في إقليم الساحل مما يساعد على تحديد الحلول الممكنة وتجنب الوقوع في مخاطر محتملة.

1.3. منهجية البحث

تم العمل على ثلاث مراحل أساسية حصلنا نتيجتها على تحديد درجات الحساسية في منطقة الدراسة تجاه تلوث المياه الجوفية، والانهيارات الأرضية، ثم قمنا بوضع القيود المناسبة تبعاً لدرجة الحساسية لكل قسم من أقسام المنطقة وذلك باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية نسخة ARCGIS 10.2 الذي اعتمد في إنجاز كل التحليلات المطلوبة. المراحل المذكورة هي التالية:

A. المرحلة الأولى : إنتاج خريطة الحساسية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة باستخدام تقنية DRASTIC.

B. المرحلة الثانية : إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة اعتماداً على أربعة عشر عاملاً ومن ثم مقاطعة العوامل مع بعضها.

C. المرحلة الثالثة : إظهار الخريطتين الناتجتين بشكل خريطة واحدة، وتحديد القيود اللازمة في كل قسم من المنطقة تبعاً لدرجة ونوع الحساسية فيه.

1.4. الدراسات المرجعية

نستعرض بعض الدراسات المرجعية المعرِّفة بأطلس الحساسية، والموضحة لمجموعة من النواحي الخاصة بمفهوم الخريطة الحساسة:

<u>أولاً</u> : بينت دراسة في عام 2002 أعدت بالتعاون بين منظمتي وكالة الريف البريطانية و التراث الطبيعي الاسكتلندية أن هناك ارتباط للحساسية الطبيعية للمعالم الأرضية landscape بطابع الاستقرار، أي بالدرجة التي يكون عندها هذا الطابع قوي بما فيه الكفاية للاستمرار وله القدرة على التعافي من الخسارة أو

التلف. بالتالي، عرِّف المنظر الطبيعي ذو طابع الحساسية الشديدة بأنه المنظر الذي تكون استعادته صعبة في حال فقده.

الافتراضات التي بني على أساسها نموذج تحليل مشهد طابع الحساسية ضمن كل نوع من المشاهد أو المناظر الطبيعية هي التالية:

1 . تلعب بعض الخصائص دوراً أكثر أهمية من غيرها في تحديد طابع المناظر الطبيعية.

2. هناك خصائص تكون أكثر ضعفاً من غيرها تجاه التغيير.

3. تختلف الدرجة التي تكون عندها مختلف الخصائص قابلة للاستبدال أو لاستعادة التخزين.

4. تتنوع ظروف المعلم الطبيعي ضمن منطقة لها ذلك النوع من المعلم الطبيعي.

وهكذا، عرِّفت الحساسية الطبيعية بسلوك نظام تعرض لضغوط أو حوافز، أي أنه إذا تعرض نظام ما للتحفيز، فمن الممكن بقاؤه قوياً دون تأثره بالضغط، بينما يضطرب آخر بسهولة. والمناظر الطبيعية التي خصصت لها درجة حساسية عالية هي المناظر التي تعرضت لخطر التغيير الجذري في خصائصها الرئيسية بسبب عمليات التنمية، مما أدى إلى تغيير، أو اختلاف في طابع المشهد (نفس المشهد لكن مع مجموعة خصائص أساسية مختلفة) [1].

<u>ثانياً</u> : تمت في مدينة أثينا في اليونان عام 2003 دراسة وضعت فيها المعايير للمناطق الحساسة من قبل برنامج البيئة للأمم المتحدة UNEP (United Nations Environment Program) وبالتعاون مع منظمة الصحة العالمية WHO (World Health Organization) بالشكل التالي:

تكون المنطقة حساسة بسبب خصائصها الطبيعية التي تسمح للملوثات بالتراكم (قدرة امتصاص منخفضة) و/ أو بسبب جودتها البيئية التي قد تتدهور بشكل خطير بسبب النشاطات البشرية المجاورة.

اعتبرت المنطقة المدروسة خليجاً أو منطقة ساحلية قرب مراكز صناعية أو مدينة هامة تتلقى الملوثات، أو ذات أهمية كبرى في ما يخص الترفيه، والموارد الاقتصادية. وبسبب التلوث القائم، فإن كل زيادة في الملوثات أدت إلى تدهور بيئي خطير (تدهور سريع في جودة المياه، وفقدان في التنوع البيئي و/أو إمكانات مصائد الأسماك، الخ).

اختيرت مجموعتين رئيسيتين للمعايير في سياق الدراسة:

1. خطر تلوث المنطقة.

2. الصفات الطبيعية للمنطقة.

1 . خطر تلوث المنطقة : اعتمد هذا المعيار على مجاورة المنطقة الحساسة لأرض تتركز فيها ضغوط بشرية شديدة (تهديدات مدنية وصناعية مثل: الصناعة والتخزين للمواد والمنتجات الخطرة، الكثافة السكانية المرتفعة، أو المنشآت السياحية، المطارات والموانئ)، أو ارتباطها الجغرافي بأحواض التصريف ذات النشاطات البشرية الهامة. وتم تقييمه بهدف تحديد طريقة ترتيب المناطق الساخنة استناداً إلى المعايير التالية كما في الجدول (1):

أ) الصحة العامة. ب) التنوع البيولوجي والبيئات البحرية. ج) مصائد الأسماك. د) الترفيه والسياحة.

الجدول (1) تقييم خطر تلوث المنطقة حسب عوامل الأوزان المعيارية

Criteria Weighting Factor (عامل الوزن المعياري)	Value (القيمة)
Puplic Health (الصحة العامة)	1
Aquatic Ecosystem (النظام البيئي المائي)	0.8
Socioeconomic Value (القيمة الاقتصادية الاجتماعية)	0.7

2. الخصائص الطبيعية للمنطقة : هي المعاملات الطبيعية التي أثرت على قدرة استيعاب الملوثات من المياه في المنطقة المدروسة والمستخدمة في وصف الضعف المتأصل في المنطقة.

اعتبرت مجموعتي المعايير المذكورتين متساويتي الأهمية في تحديد الأولويات من المناطق الحساسة، وتم وضع نظام تصنيف مناسب اعتماداً على البيانات الموجودة، على الرغم من أن هذه البيانات قد لا تكون دائماً مفصلة بدرجة كافية لتقييم حساسية المنطقة، لكنها أفضل المعلومات المتاحة للطريقة المفترض استخدامها في مختلف بلدان منطقة المتوسط [2].

ثالثاً : في مصر عام 2007 أجريت دراسة من قبل الباحثة هالة عفت والباحث محمد حجازي لصالح الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء في القاهرة، وضحت التأثير المتبادل باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية التأثير المتبادل بين الطرق الدولية وطبيعة المناطق التي تجتازها، فكما أن لهذه الطرق آثارها السلبية على بيئة المنطقة، فإن المنطقة تؤثر أيضاً من جهة أخرى على الأداء الوظيفي للطرق.

بهدف تحديد المناطق القابلة للتغير التي تحتاج إلى خطة إدارة نتيجة لوجود الطريق تم إنتاج خريطة، تبين استخدامات الأراضي اعتماداً على صورة فضائية + Landsat ETM، وباستنباط علاقة رياضية بسيطة تم حساب مقياس الأثر البيئي للطريق على الأراضي المحيطة به، حيث أعطيت الأغطية الأرضية

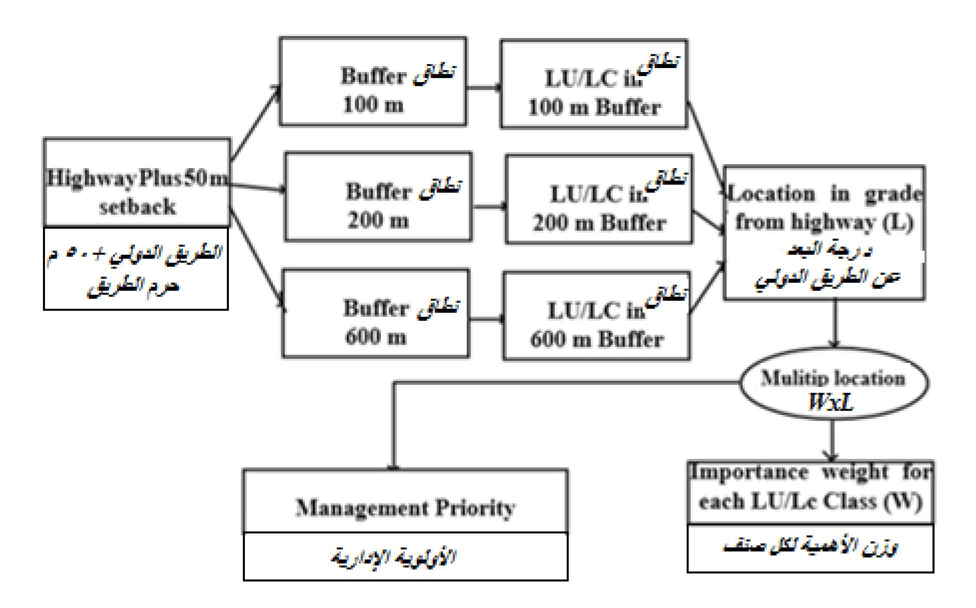
والاستخدامات المختلفة لها حول الطريق درجات نسبية تبعاً لحساسيتها تجاه التغير، كما تم إعطاؤها درجة مرتبطة ببعدها عن الطريق في حدود ثلاثة نطاقات محيطة بالطريق الدولي الشكل (1).

$$I = W * L$$

حيث: I - دليل تأثير الطريق على المناطق المحيطة به.

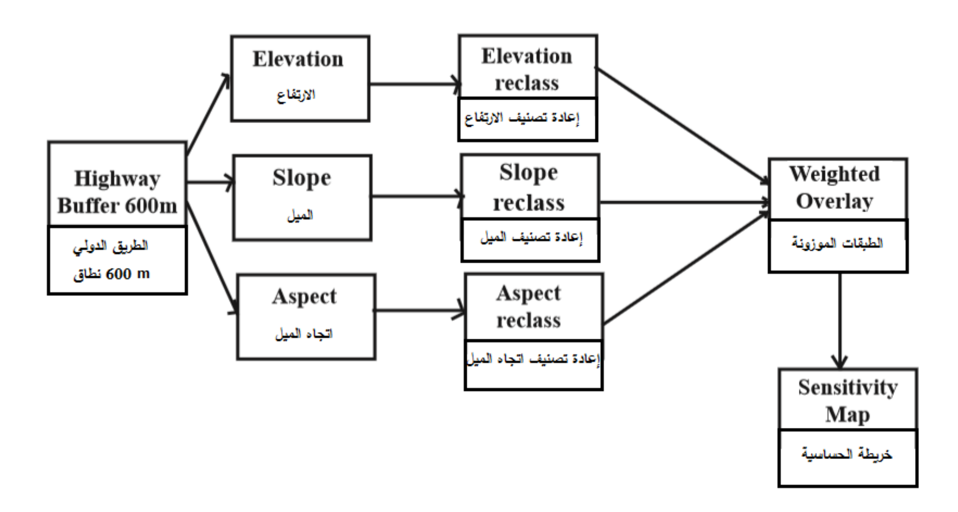
W- وزن الأهمية النسبي لكل صنف من استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة.

L - درجة بعد المناطق المحيطة بالطريق عنه والتي تختلف حسب النطاقات الثلاثة.

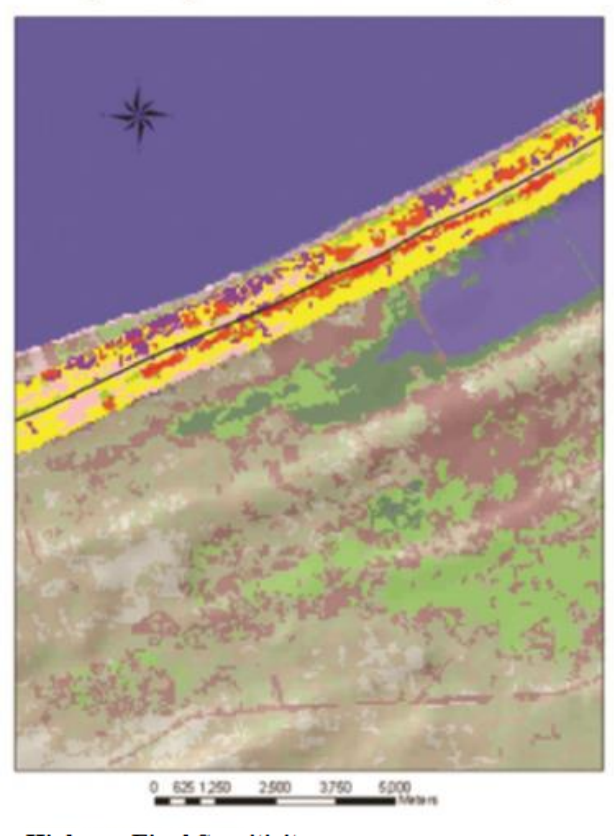


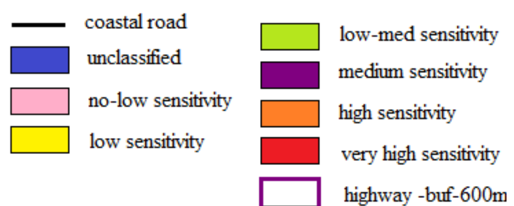
الشكل (1) النموذج المطبق لحساب دليل الأولوية الإدارية لتأثيرات الطريق الدولي على استخدامات الأراضي المحيطة به

تم الحصول على خريطة الحساسية للأراضي المحيطة بالطريق عن طريق إنتاج خرائط الارتفاعات والميول الأرضية، واتجاهات ميول الأراضي المحيطة بالطريق الدولي في منطقة الدراسة، وبإعادة تصنيف تلك الخرائط واستخدام نموذج كارتوغرافي مناسب أمكن إنتاج خريطة المناطق التي تضم وتحيط بالطريق السريع، والتي تحتاج إلى خطة إدارة، أي حددت خريطة الحساسية المناطق التي تحتاج خطة إدارة مناسبة الشكل (2) والشكل (3)، بينما اعتبر دليل التأثير الناتج مؤشراً إلى الأولويات التي وجب اتباعها من أجل خطة الإدارة المطلوبة [3].



الشكل (2) النموذج المطبق في إنتاج خريطة الحساسية للطريق الدولي



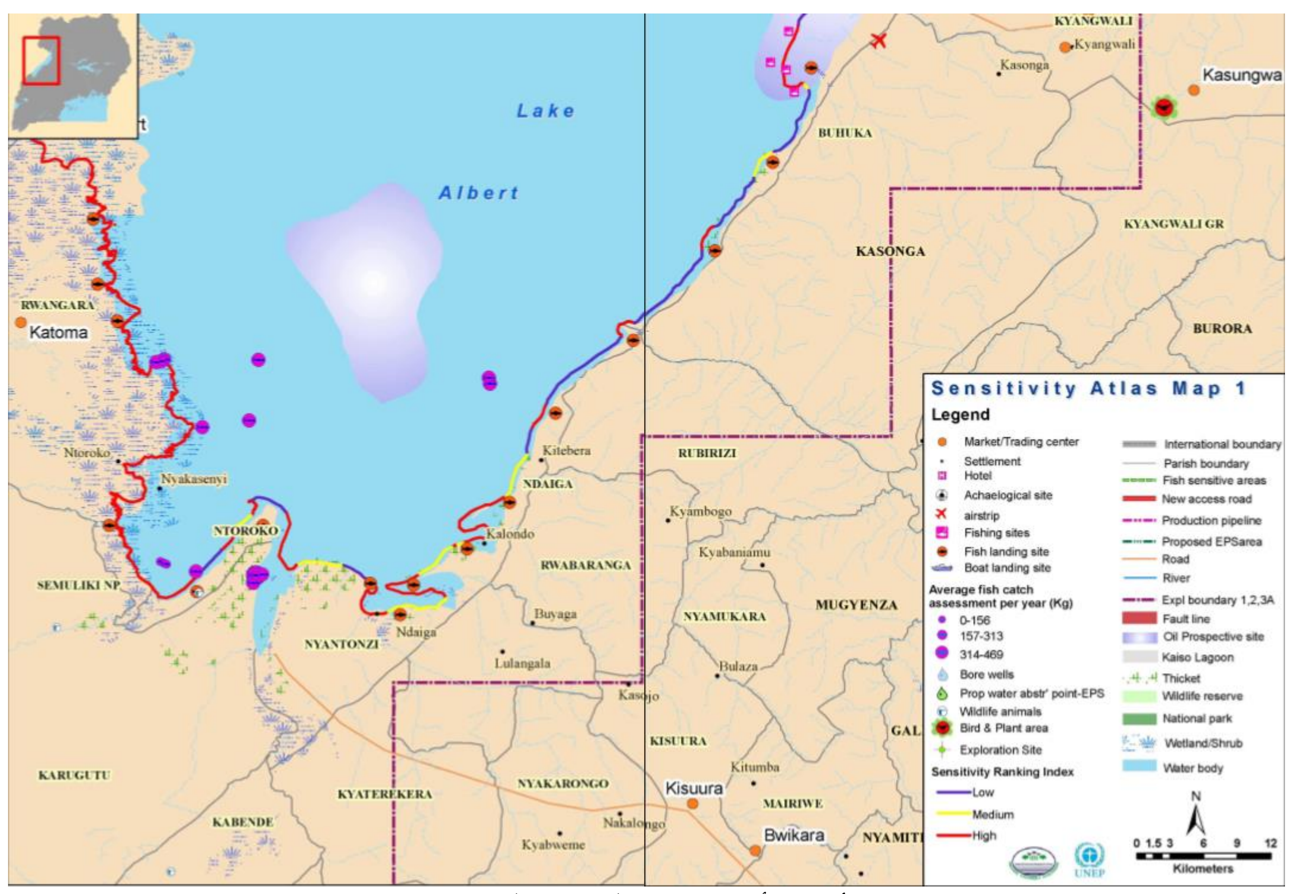


الشكل (3) خريطة تبين درجات الحساسية (6 درجات) النهائية للطريق الدولي الساحلي في منطقة الدراسة

رابعاً: في أيار عام 2009 أنشئ أطلس الخرائط الحساسة بيئياً لمنطقة Albertine Graben في دولة Uganad من قبل هيئة الإدارة البيئية الوطنية (National Environment Management Authority) NEMA اعتبرت فيه المناطق ذات الحساسية المناطق القريبة من أماكن التلوث النفطي، ووضحت الدراسة كيفية تأثير قرب هذه المناطق من أماكن التلوث النفطي.

إن الهدف من إنشاء أطلس الخرائط الحساسة بيئياً هو إظهار وتحديد والتزود بالقدرة للقيام بتحليل الحساسيات نسبة للتسرب والإنماء النفطي ضمن مناطق البحث. حيث عني بالحساسيات بأنواعها المختلفة البيئية منها والحيوية والجغرافية والاقتصادية والاجتماعية.

في المرحلة الأولى للإنشاء قسمت المنطقة المدروسة إلى 9 مناطق. وبعد التقسيم بدأ البحث عن البيانات المطلوبة، حيث أجريت مجموعة من الدراسات حول: جيولوجية المنطقة، المناخ، المياه السطحية والجوفية، مصادر الطاقة والمعادن، استخدام الأرض، الأنظمة البيئية والتنوع الحيوي ، الخ .. [4]. يبين الشكل (4) جزءاً من أطلس الحساسية الذي تم الحصول عليه نتيجة الدراسة.



الشكل (4) الجزء الأول من أطلس الحساسية في منطقة Albertine Graben

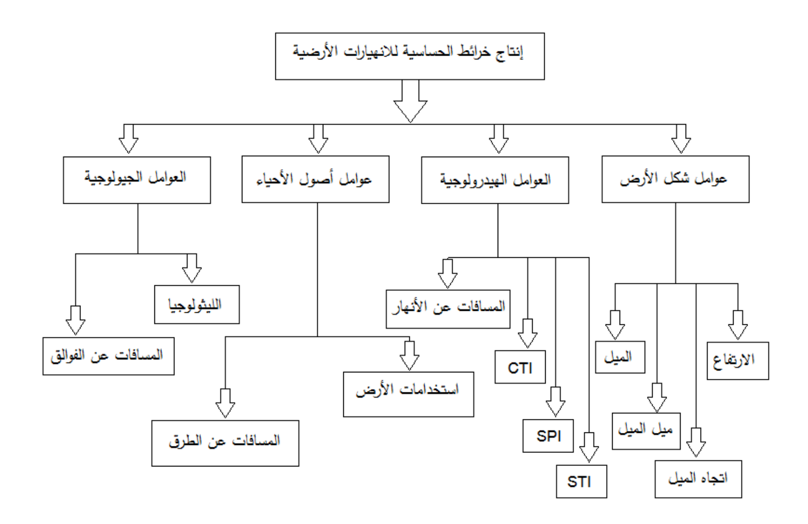
خامساً: في إيران عام 2012 م أنتجت خرائط حساسية للانهيارات الأرضية في إقليم Mazandaran الواقع في الجزء الشمالي من الدولة من قبل الباحث H. R. Pourghasemi ورفاقه. تم في هذه الخريطة إدخال مجموعة مؤلفة من ثلاثة عشر عاملاً موضحين في المخطط الموجود على الشكل (5).

حيث - CTI أو TWI (Topographic Wetness Index)- دليل الرطوبة الطبوغرافي.

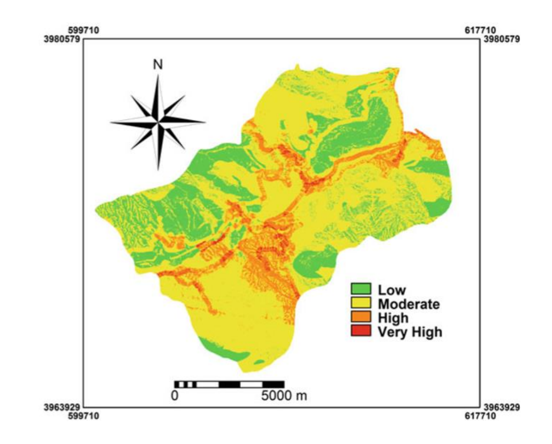
- SPI (Stream Power Index)- دليل قوة التيار المائي.

- STI (Stream Transport Index) - دليل ناقلية التيار المائي.

باستخدام منهجية التقييم المكاني للمعايير المتعددة Spatial Multi Criteria Evaluation SMCE في برنامج نظم المعلومات الجغرافية ILWIS(3.3) تم إنتاج خريطة الحساسية النهائية للانهيارات الأرضية في الإقليم [5] كما في الشكل (6).



الشكل (5) المخطط البياني المنهجي الموضح للخطوات العملية المتبعة في تخطيط الحساسية للانهيارات الأرضية في المنطقة المدروسة

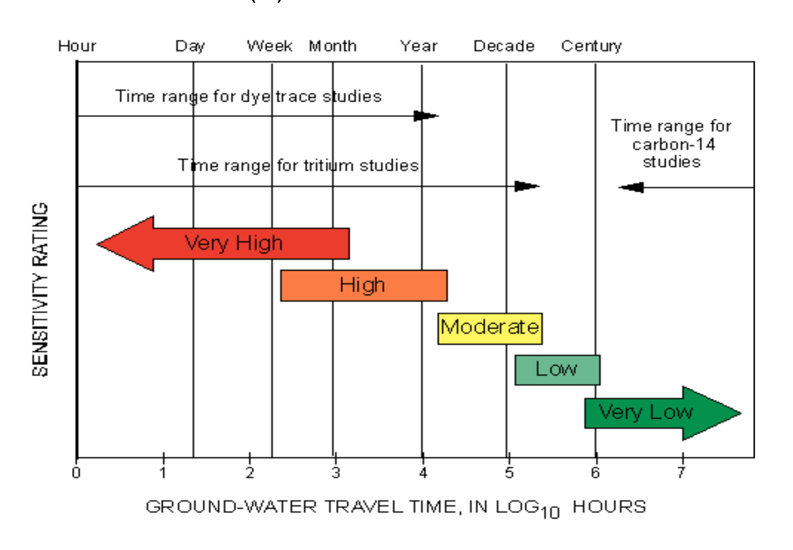


الشكل (6) خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية الناتجة عن التقييم المكاني متعدد المعايير

سادساً: نشرت دراسة عام 2014 م في الولايات المتحدة الأميركية في ولاية Minnesota من قبل قسم إدارة الموارد الطبيعية DNR (Department of National Resources) عرفت فيها المنطقة الحساسة بأنها منطقة جغرافية تتسم بخصائص طبيعية تجعلها معرضة لخطر كبير بسبب تدهور المياه الجوفية نتيجة الأنشطة الجارية على سطح الأرض، أو قربه. تم هنا تحديد حساسية المياه الجوفية للتلوث بدقة من خلال ربطها بزمن الجريان، وهو الوقت التقريبي الذي يمر بدءاً من اللحظة التي تتسلل فيها قطرة الماء من سطح الأرض حتى تدخل إلى المياه الجوفية، أو تصل إلى هدف محدد كجدول مثلاً.

أدت الدراسة إلى نتيجة مفادها أن أزمنة الجريان المقاسة أو المقدَّرة تتناسب عكساً مع الحساسية، حيث أشارت أزمنة الجريان القصيرة إلى حساسية عالية، بينما أشارت أزمنة الجريان الأطول إلى انخفاض الحساسية. كما تم الحصول على خمس طبقات نسبية للحساسية الجيولوجية من حساسية عالية جداً إلى عالية، فمتوسطة، فمنخفضة، وأخيراً منخفضة للغاية استناداً إلى تداخل مجالات زمن الجريان.

دلت الحساسية العالية جداً إلى أن المياه التي تحركت إلى الأسفل (من السطح إلى باطن الأرض) أمكنها الوصول إلى نظام المياه الجوفية خلال ساعات إلى أشهر، وبالتالي يكون الوقت المتاح للرد ومنع تلوث المياه الجوفية في هذه المناطق قصيراً، أما الحساسية المنخفضة فأشارت إلى أنه حان الوقت للتحقق من مصدر تلوث السطح، وربما تداركه، قبل تلوث المياه الجوفية [6] الشكل (7).



الشكل (7) تناسب درجة الحساسية مع الزمن اللازم لوصول المياه من السطح إلى خزان المياه الجوفية

سابعاً: في مجال المياه الجوفية أيضاً تمت دراسة لتقييم تلوث المياه الجوفية في الإمارات في الدمام عام 2014 م من قبل الباحث إبراهيم سعود الشويعي ورفاقه عرفت فيها قابلية الخزان للتلوث على أنها خاصية ذاتية للنظم الجوفية تعتمد على الخواص الطبيعية للطبقات الجيولوجية، والطبقة غير المشبعة التي تعلوها.

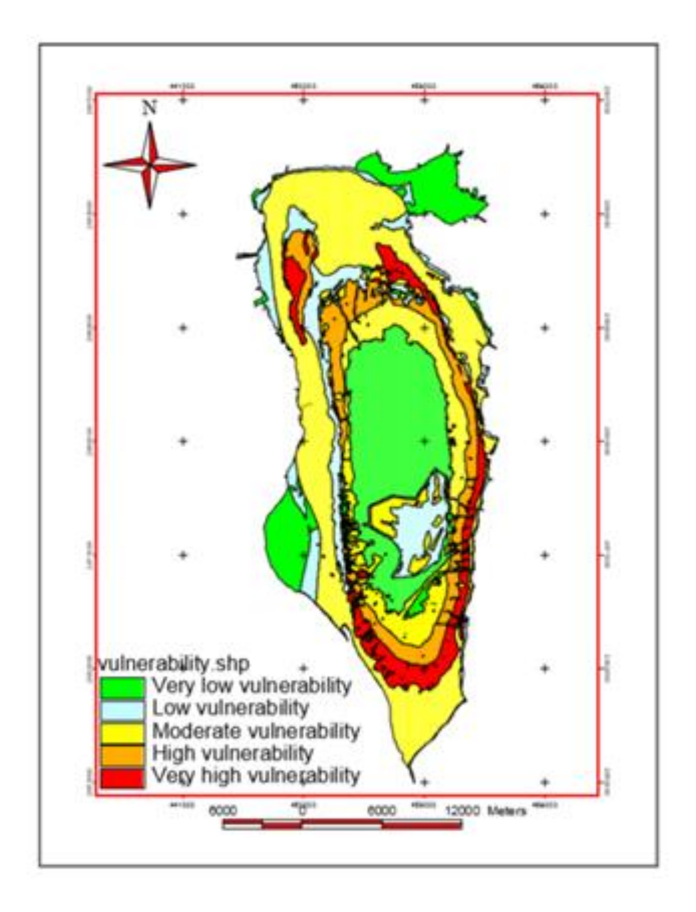
اعتماداً على منهجية المؤشرات والتراكب التي تعد من أكثر المنهجيات استخداماً في إنتاج خرائط حساسية المياه الجوفية للتلوث في العديد من دول العالم تم جمع الخرائط التي لها علاقة بالعناصر المتضمنة في عملية تقييم حساسية تلوث المياه الجوفية مثل: التربة، عمق المياه الجوفية ، قيمة معدل التغذية، وغيرها لإيجاد مناطق متماثلة في الخواص، ثم خصصت قيم نوعية ونسبية موحدة لهذه المناطق.

وبما أن طريقة "DRASTIC" التي تم تطويرها من قبل وكالة حماية البيئة EPA Environment Protection Agency في الولايات المتحدة تعتبر إحدى أكثر التقنيات المعتمدة في منهجية المؤشرات والتراكب، فقد اختيرت من قبل الباحثين في دراستهم بغرض الحصول على خرائط نسبية تمثل المناطق عالية ومنخفضة الحساسية للتلوث.

بتطبيق معادلة التقنية التي ترتكز على سبعة عناصر اشتق من الحرف الأول من كل منها كلمة دراستك وهي :

1. العمق إلى الماء (Depth to water).
2. قيمة التغذية (Recharge value).
3. وسط الخزان (Aquifer media).
4. وسط التربة (Soil media).
5. طبوغرافية المنطقة (Topography).
6. تأثير منطقة الارتشاح (Impact of the vadose zone).
7. معامل التوصيل الهيدروليكي (Hydraulic Conductivity).

خصصت قيمة تقديرية (r) تتراوح من 1 إلى 10 لكل عنصر من العناصر السبعة، وأعطي لكل منها وزناً (w) تراوح من 1 إلى 5. تظهر في الشكل (8) نتيجة الدراسة، وهي خريطة حساسية المياه الجوفية للتلوث في خزان الدمام في جزيرة البحرين [11].



الشكل (8) خريطة حساسية المياه الجوفية في خزان الدمام للتلوث في جزيرة البحرين

بينت دراسات أخرى إمكانية تطوير فعالية هذه المنهجية بمعايرة مخططات التقدير النقطي بالبيانات الحقيقية لجودة المياه الجوفية بواسطة تقنيات إحصائية ونظم المعلومات الجغرافية، وذلك باستخدام طريقة المعايرة، حيث قورنت بيانات تركيز شوارد النتريت والنترات في المياه الجوفية مع بيانات استخدام الأرض في المنطقة والترب وبيانات العمق إلى سطح المياه الجوفية فيها.

الفصل الثاني : الأساس النظري المتبع لإنتاج خرائط الحساسية في منطقة الدراسة

2.1. مقدمة

بما أن هدف البحث هو الحصول على خريطة الحساسية لإقليم الساحل السوري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، فلا بد لنا من التذكير بأنواع الخرائط، وتحديد أي نوع منها تم العمل على إنتاجه.

تعددت استخدامات الخرائط، وتنوعت: مواضيعها، وأشكالها، وأحجامها، لذا تم تصنيفها كما يلي:

أ _ خرائط حسب مقياس الرسم وتنقسم إلى:

1. خرائط المقياس الكبير (الخرائط التفصيلية أو الكادسترو): ترسم بمقياس رسم غالباً ما يزيد عن 1:2500 وترسم مثل هذه الخرائط للمناطق محدودة المساحة كالقرى والمدن الصغيرة، وتستخدم في توضيح المعالم الحضارية لمدينة، أو أحد أحيائها.
2. خرائط المقياس المتوسط (الطبوغرافية): تبدأ من مقياس رسم 1:50000 ويتدرج في الصغر إلى أن يصل إلى مقياس رسم الخريطة المليونية، وتستخدم هذه الخرائط في الأغراض العسكرية والسياحية والإدارية.
3. خرائط المقياس الصغير (الخرائط المليونية): يبدأ مقياس الرسم عادة من 1:100000 ويتدرج في الصغر حتى 1:2000000 أو 1:5000000 وتنقسم إلى نوعين:

- الخرائط المليونية العالمية: وتستخدم فيها رموز، وعلامات اصطلاحية متفق عليها عالمياً.
- خرائط الأطالس والخرائط الحائطية: وتستخدم في خرائط التوزيعات الطبيعية، والخرائط البشرية كما تستخدم عادة في الصفوف الدراسية كوسائل تعليمية.

ب _ أنواع الخرائط حسب الغرض :

لم ينتشر استخدام الخرائط الغرضية إلا في بدايات القرن التاسع عشر، لكنها أخذت تلعب دوراً هاماً منذ بداية القرن العشرين، وذلك في مختلف الميادين الاجتماعية والاقتصادية والتجارية، وازدادت أهميتها ازدياداً كبيراً

بعد انتشار أنظمة المعلومات الجغرافية وهي الأنظمة التي تعتبر وسيلة فعالة لبيان نتائج التحليل الجغرافي وتسهيل عملية نشر هذه النتائج بشكل تخطيطي على خريطة غرضية، فيتمكن من تداولها واستغلالها عدد كبير من أصحاب القرار والفنيين من غير المختصين بعلم الكارتوغرافيا. تتناول هذه الخرائط موضوعاً واحداً أو اثنين على الأقل بدقة وشمول أكبر. تدعى الخرائط الغرضية في عدد من الأحيان بالخرائط ذات الهدف الخاص (special – purpose)، أو الخرائط أحادية الموضوع (Single Topic)، أو الخرائط الإحصائية.

تقسم الخرائط الغرضية إلى نوعين رئيسيين :

- الخرائط النوعية (qualitative): وهي التي توضح التوزع المكاني النوعي للمعطيات دون أن تعطي قارئ الخريطة إمكانية الحصول على معلومات كمية لظاهرة معينة.
- الخرائط الكمية (quantitative): وهي التي توضّح التوزع المكاني لمعطيات رقمية وغالباً ما تختص كل خريطة غرضية من هذا النوع بمتحول واحد كعدد السكان أو الدخل أو درجة الحرارة الخ... ، حيث تستخدم الرموز والمصطلحات الكارتوغرافية أو الألوان للتمييز الكمي لقيم المتحول الممثل في مختلف المواقع.

تتألف الخريطة الغرضية من عنصرين رئيسيين : خريطة أساس جغرافي (geographic base map) وطبقة غرضية (thematic layer). بالتالي، فالخرائط المناسبة للبحث حسب المقياس هي الخرائط الأطلسية ذات المقياس الصغير وحسب الغرض فهي خرائط غرضية نوعية.

2.2. وصف منطقة الدراسة

امتد الساحل السوري تاريخياً من ميناء رفح في فلسطين جنوباً شاملاً الساحل السوري الحالي حتى مدينة مرسين في تركيا شمالاً. وهذا كان يشكل ما يسمى بسواحل سوريا الكبرى، ولكن بعد دخول الفرنسيين، والإنجليز، وتقسيمهم المنطقة، والاتفاقيات التي عقدوها مع تركيا، ووعد بلفور، وتقسيم سوريا تقلص الساحل السوري إلى ما يشكل اليوم منطقتي اللاذقية وطرطوس الشكل (9).



الشكل (9) إقليم الساحل السوري (منطقة الدراسة)

2.2.1. موقع ومساحة المنطقة

يشمل الساحل السوري اليوم محافظتين رئيستين هما: اللاذقية ذات الإحداثيات الجغرافية 35°31'40"N، 35°47'21"E، وطرطوس: 35°53'11"E, 34°53'20"N، بطول يصل حتى 180 كلم، وعرض 12 كم تقريباً، وبمساحة إجمالية تبلغ 4377 كيلومتراً مربعاً، ضاماً كلاً من الشواطئ الرملية، والمنحدرات والرؤوس الصخرية من "رأس البسيط" إلى " رأس ابن هاني " والخلجان مثل "خليج الميناء البيضاء" الذي يضم مملكة أوغاريت العظيمة.

2.2.2. طبوغرافية وجيومورفولوجية المنطقة

تأثرت منطقة الساحل السوري بنوعين من الحركات التكتونية العميقة التي شملت كلا من القاعدة والغطاء الرسوبي، وهما الحركة الالتوائية الألبية وحركات العتبة العربية الإفريقية، وقد التقت هاتان الحركتان في منطقة البسيط في القسم الشمالي من منطقة الدراسة.

ساهمت الحركات التكتونية بما نتج عنها من بنيات التوائية وانكسارية استمرت حتى نهاية عصر البلايستوسين الأسفل في تكوين الشكل العام لخط الساحل والشبكة النهرية في المنطقة، كما نجم عن تغيرات مستوى سطح البحر المتوسط خلال الحقب الرابع وجود عدد من المصاطب البحرية والشواطئ المرتفعة، وفي الوقت نفسه لعبت الظروف المناخية المصاحبة دوراً هاماً في مورفولوجية منطقة البحث، سواء كان ذلك في أشكال النحت أو الترسيب.

2.2.3. المناخ (الأمطار والحرارة والرطوبة والرياح)

تتمتع المنطقة بمناخ معتدل على السواحل، ومناخ معتدل ومائل للبرودة على المرتفعات الجبلية صيفاً، وبارد ماطر في الشتاء على السواحل مع تساقط الثلوج على المرتفعات الجبلية. يبلغ المعدل السنوي للمطر 1000 مم ويصل في بعض المناطق إلى أكثر من 1800 مم، كما تتعرض المنطقة لفرق كبير بين المعدلات اليومية لدرجة الحرارة العظمى والدنيا والذي يبلغ /13/ درجة.

2.2.4. جيولوجية المنطقة

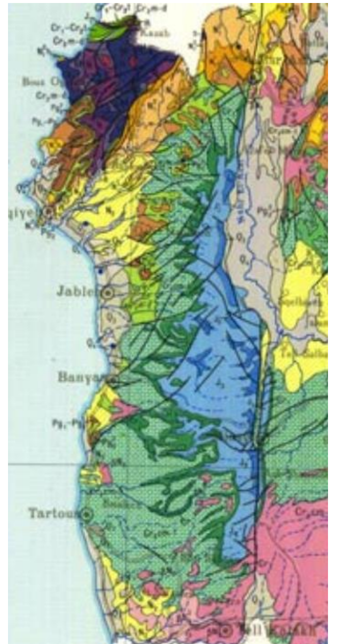
تتميز الأراضي السورية عموماً بوضع جيولوجي وبنيوي معقد نسبياً الشكل (10)، وبالحديث عن العصور الجيولوجية في حوض الساحل نذكر منها:

❖ البريكامبري: تتكشف صخوره الاستحالية المجروفة بتأثير الفوالق العميقة في مناطق البسيط، ويمكن أن نميز فيها نوعين الأول متطبق كالشيست الاستحالي والكوارتزيت والرخام والثاني كتلي كالأمفيبوليت وأنواعه المختلفة.

❖ الميروزيك: تنتشر تكشفاته في المناطق الشمالية الغربية (السلسلة الساحلية وسلسلة لبنان الشرقية)، ويقسم إلى ثلاثة أدوار : ترياسي _ جوراسي _ كريتاسي.

❖ الحقب الرابع: تنتشر توضعاته في المناطق الشاطئية على شكل مصاطب بحرية أو كثبان رملية.

❖ الصخور الخضراء (الأفيوليت): تنتشر تكشفاته في منطقة البسيط وهي صخور مخلعة بفوالق.



الشكل (10) الخريطة الجيولوجية في الساحل

2.2.5. مصادر المياه (السطحية والجوفية)

تقسم الموارد المائية إلى قسمين رئيسيين :

أ) – موارد مائية تقليدية، وتشمل مياه الأمطار والمياه السطحية والمياه الجوفية.

إن القسم الأعظم من الهطول المطري يعود فيتبخر ثانية بسبب وقوع سورية في المنطقة الجافة وشبه الجافة، حيث تطول فترة السطوع الشمسي وترتفع الحرارة، مما يؤدي إلى خسارة في التوازن المائي السنوي، لكن الخسارة في المناطق الساحلية وفي المناطق المرتفعة تكون الأقل، أما بالنسبة للموارد المائية السطحية، فهي تشمل الأنهار والينابيع والخزانات المائية الطبيعية والاصطناعية. يوجد في حوض الساحل عدد كبير من الأنهار يعتبر نهر السن الأهم فيها. من جهة أخرى، تبين الدراسات الهيدرولوجية والجيولوجية التي أجريت في سورية أن الطبقات الحاملة للمياه الجوفية تنتشر في جميع مناطق سورية.

ب) – موارد مائية غير تقليدية، وتشمل مياه الصرف الصحي، ومياه الصرف الزراعي، ومياه الاستمطار.

تصرف المدن الساحلية مياهها في البحر خلافاً لباقي المحافظات.

2.2.6. التربة

تسيطر ثلاثة أنواع رئيسة من الترب في المنطقة وهي:

النوع الأول: أتربة البحر المتوسط الحمراء Red Mediterranean Soil

تمتاز هذه الأراضي باحتواء قطاعها على أفق سطحي يحتوي على نسبة متوسطة من المادة العضوية، يتلوه في العمق أفق طيني ثقيل ذو لون ضارب على الحمرة أو الحمرة المشوبة باللون الأصفر ، يتميز هذا الأفق ببناء كتلي مضلع إلى شبه مضلع.

النوع الثاني: أتربة الـچروموسول Grumosol

تتميز هذه الأراضي بكونها طينية ثقيلة، يعلوها أفق داكن اللون منخفض في نسبة المادة العضوية، ولكونها تتميز بهذا القوام الثقيل فهي أراضي لزجة ولدنة في شروطها الرطبة تتحول إلى قاسية صعبة المراس عند جفافها. وبسبب كثرة الطين تنتفخ لدى ريها، ثم لا تلبث أن تتكمش وتتشقق بعد الجفاف، مما يحدث فيها شقوقاً وأخاديد يصعب معها تمييز الآفاق أحياناً في قطاع التربة، وقد يدل لون هذه الأراضي البني الأحمر على جودة صرفها الداخلي أحياناً. منشأ هذه الأراضي في الغالب من أصل كلسي، أو من رواسب البحيرات، أو من رواسب لحقية الأصل.

النوع الثالث: أتربة السنامونيك Cinnamonic

تتميز هذه الأتربة بوجود أفق واضح في أعلى القطاع يحوي نسبة لا بأس بها أحياناً من المادة العضوية. يلي هذا الأفق أفق آخر بلون بني محمر أو مصفر، ويتداخل هذا الأفق مع أفق كلسي على عمق يتراوح بين 30–80 سم يتحول إلى طبقة قاسية أحياناً. لون التربة السائد هو البني المشوب بالأصفر أو الأحمر، أما القوام الوسطي لهذه الأتربة فيختلف من متوسط إلى ثقيل.

2.2.7. الثروة المعدنية

يوجد في منطقة حوض الساحل العديد من مصادر الثروات الطبيعية، والتي تتركز بمعظمها في منطقة البسيط كالكروم والنحاس والمنغنيز والتالك والحرير الصخري، كما يتواجد الفوسفات والحديد في الجبال الساحلية عموماً، ويلاحظ وجود الإسفلت تحديداً في منطقة كفرية في اللاذقية، أما الجص فينتشر على امتداد منطقة الدراسة.

2.2.8. السياحة

تعتبر منطقة حوض الساحل من أجمل مناطق البحر المتوسط يجتمع فيها جمال الطبيعة الساحر والجبال والغابات الخضراء والشواطئ الممتدة، يزورها في الصيف آلاف السياح والمصطافين، يوجد فيها الكثير من القرى السياحية والمصايف والمنتجعات البحرية وعدد من الشواطئ المخصصة للسباحة ومناطق الاستجمام، وتنتشر

المقاهي والمطاعم بطول الشاطىء الجميل وتجد الشاليهات والفنادق على الشواطيء وفي داخل المنطقة ومحيطها، ومن جهة ثانية هناك الكثير من أماكن الزيارة مثل المتحف والمباني الأثرية والمسارح وصالات السينما والنوادي وأماكن السهر.

يقام في طرطوس مهرجان سياحي سنوي (مهرجان طرطوس السياحي) يضم العديد من الفعاليات الفنية وعروض ثقافية وتراثية في شهر تموز / يوليو/ من كل عام، كما تقام أيضاً في اللاذقية عدة فعاليات ومهرجانات سياحية مثل مهرجان المحبة ومهرجان السياحة والتسوق ومهرجان الموسيقى وغيرها .



الشكل (11) قلعة صلاح الدين



الشكل (12) صورة لساحل اللاذقية

2.2.9. الكثافة السكانية

تعتبر الكثافة السكانية عالية بشكل عام في الساحل السوري، وذلك بسبب وفرة الموارد الطبيعية وتحديداً الماء والمطر اللذين يعدان سببين رئيسيين في توزع السكان. وفقاً للتقارير الإحصائية وصل عدد يتجاوز المليون شخص إلى اللاذقية وطرطوس منذ بداية الأزمة السورية عام 2011 م، ما أدى إلى تضخم عدد السكان المحليين بنسبة 50%.

2.2.10. الغطاء النباتي

تتمتع منطقة حوض الساحل بتنوع الغطاء النباتي من غابات وحراج (مثل: غابات صلنفة وغابات ربيعة) ومحميات طبيعية. حيث تبلغ المساحات الحراجية في محافظة اللاذقية /85.000/ هكتار، وتشكل نسبة 37% من مساحة المحافظة. أما المساحات المزروعة في المحافظة فهي بحوالي/94.000/ هكتار، وتشكل نسبة 47.14% من مساحة المحافظة. تشكل الغابات في طرطوس فقط مساحة تساوي إلى 7.35%.

هذه النسب الجيدة تساعد على الاستفادة منها في تفعيل الاصطياف والسياحة البيئية والاستثمار البيئي للمحميات الطبيعية .

المحميات الطبيعية:

يوجد في حوض الساحل مجموعة من المحميات الرئيسة، أهمها : محمية أم الطيور (1000 هكتار)، ومحمية ابن هاني، ومحمية غابات الفرنلق (1500 هكتار) في محافظة اللاذقية، محمية الأرز والشوح (1350 هكتار) في الجبال الساحلية، محمية عين الشعرة في محافظة طرطوس، محمية رأس البسيط (3000 هكتار)، ومحمية مقترحة وهي محمية السلاحف في الشقيفات.

2.3. إنتاج خريطة الحساسية لتلوث المياه الجوفية في حوض الساحل السوري

2.3.1. تمهيد

تكمن أهمية المياه الجوفية بأنها المصدر الثاني للماء العذب على سطح الأرض ليس فقط كماء للشرب لكنها أيضاً مهمة لحياة الحيوان والنبات، وفي الصناعة والزراعة. ونظراً لكون المياه سبب الحياة، ونتيجة توسع الطلب عليها تلبية لمختلف الأغراض، ولأنها تصبح مع تزايد عدد السكان في منطقتنا نادرة أكثر فأكثر، ولأن معدل تلوثها يرتفع يوماً بعد يوم يزداد الموضوع المائي في الوقت الراهن تعقيداً وخطورة.

يعتبر حوض المياه الجوفية الساحلي في شمال غرب سوريا بمحاذاة الشاطئ المتوسطي من أغنى الأحواض من حيث توافر المياه، فقد نتجت عن مواسم هطول الأمطار المواتية، ووفرة الحجر الكلسي شبكة متطورة جداً من مصادر المياه الجوفية والسطحية كذلك.

ومن المعروف أن مستوى الإشباع بالمياه الجوفية قريب من السطح في حوض الساحل، وتعاني المياه عنده من التلوث بالكوليفورم، والبكتيريا، والملح وغيره لأسباب عديدة:

1. تتعرض المياه الجوفية الساحلية لتداخل مياه البحر.
2. يؤدي طرح مياه الصرف الصحي إلى التلوث بسبب وجود شبكات صرف غير كتيمة، وعدم تخديم معظم التجمعات السكانية بشبكات الصرف الصحي حيث تستخدم الحفر الفنية النفوذة مما يؤدي إلى وصول المياه الآسنة إلى المياه الجوفية.
3. مياه الصرف الصناعي كمخلفات معاصر الزيتون المتواجدة بكثرة في المنطقة هي سبب رئيسي لتلوث المياه الجوفية.
4. طرح مياه الصرف الزراعي الفائضة عن حاجة النبات محملة بالمبيدات الحشرية والمخصبات والجراثيم التي يمكن أن تتسرب إلى المياه الجوفية.

نتيجة للأسباب سابقة الذكر تتدهور النظم البيئية المائية للمياه الجوفية، فتخرج من دائرة الاستثمار المفيد، وتخسر قيمتها الاقتصادية، كما تحدث الأضرار الصحية بسبب ارتفاع نسبة الملوثات.

إدراكاً منّا لهذا الخطر الكارثي، حاولنا إنتاج خريطة تبين حساسية المياه الجوفية للتلوث في حوض الساحل بالاعتماد على منهجية DRASTIC المتناسبة مع حجم البيانات المتوفرة والزمن المعطى لإتمام البحث بهدف اتخاذ الإجراءات اللازمة في مختلف أقسام المنطقة المدروسة تبعاً لاختلاف درجات الحساسية فيها.

2.3.2. المنهجية النظرية المتبعة في إنتاج خريطة حساسية المياه الجوفية للتلوث

طورت هيئة حماية البيئة الأميركية EPA نموذج DRASTIC ليكون نظام قياسي (منهجية) لتقييم ضعف المياه الجوفية تجاه التلوث. الغرض الأساسي من DRASTIC هو تقديم المساعدة في تخصيص الموارد وتحديد الأولويات للكثير من أنواع الأنشطة المتصلة بالمياه الجوفية وتوفير أداة تعليمية عملية.

ترتكز الدراسة على اعتبار الضعف في منطقة ما مؤشراً إلى حساسية المياه الجوفية للتلوث المحددة بمجموعة من الميزات الأساسية لخزان المياه الجوفية في هذه المنطقة. ننوه هنا إلى أن مفهوم الحساسية يختلف عن خطر التلوث الذي يعني وجود الملوثات بالإضافة إلى الضعف.

تعتمد الدراسة على أربعة افتراضات أساسية [7] :

A . الملوث موجود على سطح الأرض.

B . الملوث ينتقل إلى المياه في جوف الأرض بالهطول المطري.

C . الملوث له قابلية النقل كالمياه.

D . مساحة المنطقة الواجب تقييم ضعفها بـ DRASTIC تقدر بـ 100 هكتار أو أكثر.

لم تتبع DRASTIC من أجل التعامل مع الملوثات التي تصل سطوح المياه الجوفية الضحلة أو العميقة من خلال آبار الحقن، أو سبخات الفضلات الخاصة بالحيوانات، أو التسرب من الخزانات للملوثات تحت الأرض قبل أن تنقل منها. كما أن الطريقة لم تصمم لتحل محل التحقيقات للمواقع، أو لتحدد نوع التسهيلات والعمليات اللازمة. أي على سبيل المثال: هذه الطريقة غير معنية أبداً بتحديد المواقع الأمثل لطرح النفايات. ومع أنها قد تكون من المعايير المستخدمة في اتخاذ القرارات، غير أنها لا يجب أن تكون المعيار الوحيد.

غاية هذه الدراسة هي:

1– تقييم حساسية الخزان الجوفي للتلوث في منطقة الدراسة (حوض الساحل).

2– تحديد المناطق الأكثر عرضة للتلوث.

3– تقديم تحليل مكاني للعوامل والظروف التي يمكن بموجبها أن تصبح المياه الجوفية ملوثة من خلال تطبيق نموذج DRASTIC ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

يستخدم هذا النموذج سبعة عوامل هيدروجيولوجية بيئية اشتق من الحرف الأول من كل منها كلمة DRASTIC:

1. عمق سطح المياه الجوفية (Depth to water): هو العمق الذي تقطعه الملوثات قبل أن تصل إلى سطح المياه الجوفية. كلما كان منسوب الطبقة المائية أقرب إلى سطح الأرض تصبح فرصة الملوثات أكبر في الوصول إلى سطح المياه الجوفية بعكس سطح الماء العميق.

قمنا بإجراء تحليل عمق الطبقة المائية أيضاً بالاعتماد على الأعماق الاستاتيكية (بدون ضخ) للآبار الموجودة في منطقة الدراسة، كطريقة مقارنة فقط، لعلمنا بأن الاستيفاء (IDW) Inverse Distance Weighted حل غير دقيق لأنه يعطي_سطحاً مستمراً، بينما تكون الآبار غير مستمرة، بالإضافة إلى أنه في أماكن وجود الفوالق يكون هناك تكسر في الطبقات.

في الجدول (2) نجد القيم التقديرية لأعماق طبقة المياه الجوفية تبعاً لـ DRASTIC.

في الجدول (3) نجد القيم التقديرية لأعماق الآبار تبعاً لـDRASTIC.

الجدول (2) القيم التقديرية لأعماق طبقة المياه الجوفية تبعاً لـ DRASTIC

DRASTIC RATING	عمق الطبقة المائية
10	ضحلة إلى سطحية
7	متوسطة
4	متوسطة إلى عميقة
1	شديدة العمق
0	لا يوجد بيانات

الجدول (3) القيم التقديرية لأعماق الآبار تبعاً لـ DRASTIC

DRASTIC RATING	RANGE (m)
10	< 12
9	13 − 22
8	23 − 32
7	33 − 42
6	43 − 52
5	53 − 62
4	63 − 72
3	73 − 82
2	83 − 92
1	> 92

حيث DRASTIC RATING - التقدير المعطى تبعاً لـ DRASTIC

2. قيمة التغذية (Recharge Value): يقصد به الوارد المائي الإجمالي الذي يتسرب من خلال النطاق غير المشبع إلى الطبقة المائية خلال فترة محددة من الزمن (عام مثلاً)، أي أنه يمثل كمية الماء لكل وحدة مساحة تترشح من خلالها المياه، والتي يستخدم لتقديرها طرق مختلفة أهمها الطرق المعتمدة على معادلة التوازن المائي.

تعتبر التغذية أساساً لنقل الملوثات عمودياً وأفقياً، وكلما كانت أعلى تكون احتمالية التلوث أكبر.

اعتمدنا في الدراسة على تحديد قيمة التغذية بأنها قدرة المنطقة على السلوك كمنطقة تغذية بالنسبة لمنطقة أخرى، آخذين بالاعتبار وجود الفوالق والبعد عنها [8] استناداً إلى المعادلة (1) :

$$\mathbf{RV=RF+S\%+SP+(F-FD)} \qquad (1)$$

حيث RV(Range) - قيمة التغذية (مجال). RF - معامل الهطول المطري أو معدل الهطول المطري السنوي. S% - الميل بشكل نسبة مئوية ؛ SP - نفوذية التربة.

(F-FD) - تقدير معدل المسافة عن الفوالق F وعن نقاط تقاطع الفوالق مع شبكة الصرف FD.

بالتالي، فالأماكن التي تمتلك درجة الحساسية الأعلى تكون ذات معدل الهطول الأعلى، والميل الأقل، ومعامل النفوذية الأعلى، والأكثر قرباً إلى نقاط تقاطع الفوالق مع شبكة الصرف الموجودة.

تظهر في الجدول (4) القيم التقديرية المعطاة لطبقة معدل التغذية تبعاً لـDRASTIC.

الجدول (4)حساب تأثير عامل معدل قيمة التغذية القيم التقديرية له تبعاً لـDRASTIC

RF	Rating	S%	Rating	SP (Range)	Rating	F (m)	Rating	FD (m)	Rating	Average (F,FD)	Rating	RV (Range)	Rating
500 -1000	2	0_ 2	10	ضعيفة إلى عديمة	1	0_500	10	0_500	10	0_500	10	28_31	10
1000- 1500	3	2_ 6	9	ضعيفة	3	500_1000	9	500_1000	9	500_1000	9	25_28	9
		6_ 2	5	متوسطة	5	1000_1500	8	1000_1500	8	1000_1500	8	22_25	8
		12_18	3	متوسطة إلى جيدة	7	1500_2000	7	1500_2000	7	1500_2000	7	19_22	7
		> 18	1	جيدة إلى عالية	9	2000_2500	6	2000_2500	6	2000_2500	6	16_19	6
				لا يوجد بيانات	0	2500_3000	5	2500_3000	5	2500_3000	5	13_16	5
						3000_3500	4	3000_3500	4	3000_3500	4	10_13	4
						3500_4000	3	3500_4000	3	3500_4000	3	8_10	3
						4000_4500	2	4000_4500	2	4000_4500	2	6_8	2
						>4500	1	>4500	1	>4500	1	4_6	1

3. وسط الخزان (جيولوجية الخزان) (Aquifer media): يعبر عن مقدار ضعف الصخور المشكّلة للخزان الجوفي والتي تعكس انتقال الملوثات عبرها. كلما كان حجم حبيبات هذه الصخور أكبر، وكلما زاد عدد الشقوق فيها كانت النفوذية أعلى مما يدل على ضعف أشد للخزان.

يتبين في الجدول (5) أنواع الصخور والقيم التقديرية المعطاة لكل نوع مستخدم في حساب المؤشر[12].

قمنا بحذف هذا العامل من الدراسة بسبب عدم توفر البيانات الخاصة فيه.

الجدول (5) أنواع صخور الخزان الجوفي والقيم التقديرية لها تبعاً لـ DRASTIC

AQUIFER MATREIAL	DRASTIC RATING	TYPICAL RATING
Massive shale صخور رسوبية كبيرة	1-3	2
Metamorphic/igneous صخور متحولة / نارية	2-5	3
Weathered Metamorphic/igneous صخور متحولة متأثرة بالعوامل الجوية / نارية	3-5	4
Glacial till رواسب متوضعة على الجليد	4-6	5
Bedded sandstone, limestone, shale sequences صخر رملي متطبق، صخر كلسي، سلاسل صخرية رسوبية	5-9	6
Massive sandstone صخور رملية كبيرة	4-9	6
Massive limestone صخور كلسية كبيرة	4-9	6
Sand and gravel رمل و حصى	4-9	8
Basalt بازلت	2-10	9
Karst limestone صخر كلسي كارستي	9-10	10

4. وسط التربة (النسيج) (Soil media): هو الجزء العلوي من منطقة الارتشاح الذي تقوم عليه الأنشطة البشرية. اختلاف أنواع الترب يعني اختلاف قدرتها على الاحتفاظ بالماء مما يؤثر على زمن وصول الملوثات إلى سطح الخزان الجوفي. كما تؤثر خصائص التربة (السمك ، القوام ، كمية المواد العضوية، درجة الحرارة والرطوبة) على جودة المياه الجوفية.

تم إعطاء القيمة التقديرية لكل نوع من أنواع نسيج التربة في الجدول (6) استناداً إلى الجدول(7) [7].

الجدول (6) القيم التقديرية لأصناف نسيج التربة في منطقة الدراسة تبعاً لـDRASTIC

DRASTIC RATING	نوع التربة SOIL TYPE
10	rocks on badlands صخور على أرض وعرة
9	gravels, sand, clay حصى، رمل ، طين
9	gravels, sand, silty loam حصى، رمل، لوم غريني
9	gravels, sand, clay, silty loam حصى، رمل، طين ، لوم غريني
7	Clay طين
7	silty clay طين غريني
3	clay, silty loam طين، لوم غريني
3	clayey loam لوم طيني
0	no_texture لا يوجد بيانات عن النسيج

الجدول (7) القيم التقديرية لأصناف نسيج التربة تبعاً لـDRASTIC

Soil Surface Texture		DRASTIC Rating For Soil Media
Description	**Classification**	
UWB	unweathered bedrock صخور متطبقة غير معرضة للعوامل الجوية	10
WB	weathered bedrock صخور متطبقة معرضة للعوامل الجوية	10
FS	fine sand رمل ناعم	9
LS	loamy sand رمل لومي	8
LFS	loamy fine sand رمل ناعم لومي	8
C	clay (shrinking) طين (منكمش)	7
SIC	silty clay (shrinking) طين غريني (منكمش)	7
FSL	fine sandy loam لوم رملي ناعم	6
VFSL	very fine sandy loam لوم رملي ناعم جداً	6
L	Loam لوم	5
CB-L	cobbly to loam حصوي إلى لومي	5
CR-L	cherty to loam	5
CRV-SIL	very cherty to silt loam	5
ST-L	stony to loam صخري إلى لومي	5
ST-FSL	stony to fine sandy loam صخري إلى لوم رملي	5
STV-FSL	very stony to fine sandy loam صخري جداً إلى لوم رملي ناعم	5
GR-FSL	gravelly to fine sandy loam حصوي إلى لوم رملي ناعم	5
GR-L	gravelly to loam حصوي إلى لومي	5
GRV-FSL	very gravelly to fine sandy loam حصوي جداً إلى لوم رملي ناعم	5
GRV-SIL	very gravelly to silt loam حصوي جداً إلى غرين لومي	5
SIL	silt loam لوم غريني	4
FL-SIL	flaggy to silt loam	4
SICL	silty clay loam لوم طيني غريني	3
CL	clay loam لوم طيني	3

5. طبوغرافية المنطقة (انحدار السطح) (Topography): تؤثر الميول المختلفة لسطح المنطقة على سير الملوثات على سطح الأرض، فالميول الخفيفة تعطي احتمالية عالية لترشح الملوثات إلى داخل الأرض بسبب مكوثها مدة أطول على السطح، أما إذا كان الميل حاداً سيكون الجريان السطحي أكبر ورشح الملوثات إلى داخل التربة أقل [8]. يبين الجدول (8) القيم التقديرية للميول في منطقة الدراسة تبعاً لدراستك.

الجدول (8) القيم التقديرية للميول تبعاً لـDRASTIC

DRASTIC RATING	Slope %
10	0 _ 2
9	2 _ 6
5	6 _ 12
3	12 _ 18

6 . التوصيل الهيدروليكي (النفوذية) (Hydraulic Conductivity): هو قدرة مواد الطبقة لتوصيل أو إمداد الماء من منطقة إلى أخرى (معدل تدفق المياه تحت وحدة الميل الهيدروليكي). هذا المعامل مهم جداً لأنه يتحكم بمعدل حركة الملوثات وبعدها عن سطح الخزان الجوفي. فعندما يكون معامل التوصيل عالياً تكون إمكانية وصول الملوثات أكبر، والعكس صحيح. في الجدول (9) نجد القيم التقديرية لمعامل التوصيل الهيدروليكي تبعاً لـDRASTIC .

الجدول (9) القيم التقديرية لمعامل التوصيل الهيدروليكي تبعاً لـ DRASTIC

معامل التوصيل الهيدروليكي (النفوذية)	DRASTIC RATING
ضعيفة إلى عديمة	1
ضعيفة	3
متوسطة	5
متوسطة إلى جيدة	7
جيدة إلى عالية	9
لا يوجد بيانات	0

7 . تأثير الطبقة غير المشبعة بالمياه (Impact of the vadose zone): هي المنطقة غير المشبعة كلياً أو جزئياً بالماء، والواقعة فوق مستوى المياه الجوفية. يحدد نسيجها (نوع الصخور فيها) الزمن اللازم للملوثات حتى تعبر من خلالها إلى الخزان الجوفي. تم إعطاء القيمة التقديرية لكل صنف من صخور العصر المتكشف في منطقة الدراسة في الجدول (11) استناداً إلى الجدول (10) [12].

الجدول (10) أنواع الصخور في طبقة عدم الإشباع والقيم التقديرية لها تبعاً لـDRASTIC

UNSTANDARTED ZONE MATREIAL	DRASTIC RATING	TYPICAL RATING
Confining layer طبقة محصورة	1	1
Silt/clay طين / غرين	2-6	3
Shale صخر رسوبي	2-5	3
Limestone صخر كلسي	2-7	6
Sandstone صخر رملي	4-8	6
Bedded limestone, sandstone shale صخر رسوبي رملي، صخر كلسي متطبق	4-8	6
Sand and gravel with significant silt & clay رمل و حصى مع غرين وطين بنسبة هامة	4-8	6
Metamorphic/igneous صخر متحول / ناري	2-8	4
Sand and gravel رمل و حصى	6-9	8
Basalt بازلت	2-10	9
Karst limestone صخر كلسي كارستي	8-10	10

الجدول (11) القيم التقديرية لأصناف طبقة عدم الإشباع تبعاً لـDRASTIC

الوصف الليثولوجي لطبقة عدم الإشباع	DRASTIC RATING
حجر كلسي _ دولوميت	10
إنسكابات وصبات بازلتية	9
رسوبات رملية ريحية	8
حجر رملي ناعم _ رمل _ حصى	7
حجر رملي_مارل	6
حجر رملي بحري	6
حجر رملي ناعم_مارل	6
حصى لحقية_كتل صخرية	6
حجر كلسي_دولوميت_مارل	6
حجر كلسي_مارل_حجر رملي_جص	6
مارل غضاري_ غضار_ حجر كلسي	5
صخور أوفيوليتية خضراء	4

يتم إعطاء قيمة تقديرية لكل عنصر من العناصر السبعة آنفة الذكر تتراوح من 1 إلى 10، ويرمز لها بالرمز (r) ويعطى كل من العناصر السبعة وزن تأثير يتراوح من 1 إلى 5 يرمز له بالرمز (w). تستخدم هذه القيم في المعادلة (2) لكل عنصر من العناصر للحصول على مؤشر الدراستك لحساسية المياه الجوفية للتلوث.

$$D_i = D_r * D_w + R_r * R_w + A_r * A_w + S_r * S_w + T_r * T_w + I_r * I_w + C_r * C_w \qquad (2)$$

الجدول (12) يبين الأوزان المعطاة لكل عامل من العوامل السبعة حسب منهجية DRASTIC

العامل	الوزن
عمق سطح المياه الجوفية	5
معدل التغذية	4
وسط الخزان	3
وسط نسيج التربة	2
طبوغرافية المنطقة	1
معدل التوصيل الهيدروليكي	3
تأثير الطبقة غير المشبعة بالمياه	5

تعتمد هذه الطريقة على تحكيم الخبرة لمستخدميها في تحديد الأوزان لكل عنصر، ويمكن إجراء بعض التعديلات عليها لتتناسب والظروف المحلية. تجدر الإشارة إلى أن قيم حساسية المياه الجوفية للتلوث التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة ليست مطلقة بل دليل ومؤشر على الأهمية النسبية لكل من العوامل المؤثرة دون إعطاء معلومات تتعلق بالنتائج المصاحبة للمؤشر.

كلما كان المؤشر عالياً كانت قابلية التلوث عالية. من إيجابيات هذه الطريقة أنها تعطي إجابات دون التركيز على أحد العناصر، أي حتى لو كان هناك خطأ في تقدير القيمة أو الوزن النسبي لأحد هذه العناصر فإن ذلك لا يشكل أهمية كبرى، أو لا يؤثر بشكل كبير عند إيجاد المحصلة النهائية للعناصر السبعة. وتعتبر تقنية نظم المعلومات الجغرافية من أنسب الأدوات المستخدمة في تنفيذ وتطبيق هذه الطريقة.

2.4. إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية في حوض الساحل السوري

2.4.1. تمهيد

التربة (Soil) هي الطبقة السطحية من القشرة الأرضية التي تمتزج معها الكائنات الحية ونواتج المواد المتحللة التي توجد على عمق 50 إلى 100 سنتيمتر والمكونة من مواد صخرية تفتتت بسبب تعرضها للعوامل البيئية والبيولوجية والكيميائية، ومن بينها عوامل التجوية، وعوامل التعرية.

تمثل التربة أحد أهم الموارد الطبيعية فهي ضرورية للنشاط الفلاحي، وللغطاء النباتي. وتعد مصدراً لبعض مواد البناء، والموارد المعدنية، كما أنها أداة منظمة للجريان المائي. كذلك تعمل التربة كمصفاة لحماية جودة الماء والهواء والموارد الطبيعية الأخرى.

تتعرض التربة لمجموعة أساسية من عوامل الخطر :

1). تآكل التربة (التعرية) Erosion.

2). تناقص المادة العضوية Organic Matter Decline.

3). الانضغاط Compaction.

4). التملح Salinisation.

5). الانهيارات الأرضية Landslides.

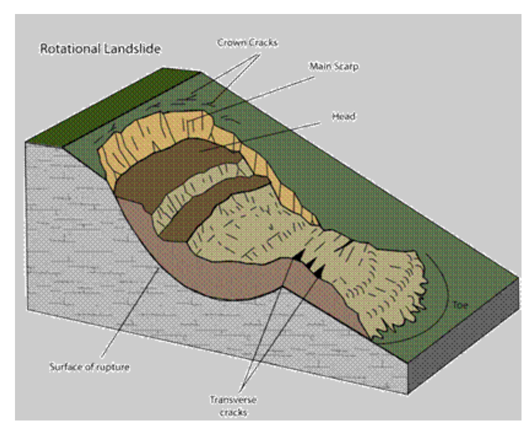
تبعاً للبيانات المتاحة والمتعلقة بالأخطار سابقة الذكر اخترنا دراسة خطر الانزلاقات الأرضية، وإنتاج خريطة الحساسية له.

تعرف الانهيارات الأرضية بأنها عملية جيولوجية تحدث في الأجزاء المكونة للمنحدرات بغض النظر عن كونها تربة أو صخور، حيث ينفصل جزء كبير من التربة أو الصخور عن القسم الرئيسي، ويتحرك بعيداً عنه متى توافرت العوامل المسببة لذلك، وهي إما أن تتخذ الشكل الفجائي بدون مؤشرات، أو على فترات طويلة بمعدلات ثابتة.

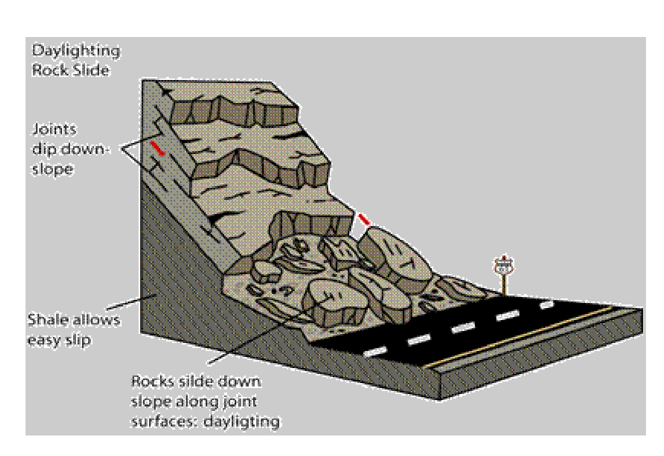
تحدث الانهيارات الأرضية نتيجة لواحد أو أكثر من الأسباب التالية:

1. ضعف في التركيب البنيوي للصخور أو التربة.
2. التغييرات في منسوب المياه الجوفية.
3. تغييرات فى جريان المياه السطحية.
4. الأحمال الثقيلة على المنحدرات.
5. تشبع منطقة الانهيار بالماء(بسبب تساقط الأمطار بغزارة، ضراوة الفيضانات، إلخ ..).
6. الاهتزازات بفعل الزلازل أو البراكين أو عمليات التفجير.
7. أعمال التنقيب أو التعدين فضلاً عن الاستثمارات الإنشائية.
8. الجاذبية الأرضية وعامل الانحدار.

بناء على حركة المواد الأرضية يمكن أن يحدث انهيار بالرمل، أو بالصخر، أو بين الاثنين سواء كانت هذه الحركة سقوط، أو زحف، أي تتخذ الانهيارات الأرضية عدة أشكال [13] وهي:



الشكل (13) أحد أشكال الانهيارات الأرضية (الانزلاق)



الشكل (14) أحد أشكال الانهيارات الأرضية (تساقط الصخور)

1. التدفق FLOW: نمط من الانزلاقات الطينية، ويحدث بفعل السيول والتساقط الشديد فضلاً عن فيضانات الأنهار، ويحدث فيه اختلاط للمواد والجزيئات المحمولة بواسطة المياه.
2. الانزلاق SLID: يحدث بسبب وجود طبقة من الطين بين الطبقات الصخرية مع توفر الانحدار اللازم، مما يؤدي لانزلاق الكتل الصخرية أعلى الطبقة الطينية، الشكل (13).
3. تساقط الصخور ROCK FALLS: في هذه الحالة لا يكون وجود الماء ضرورياً للحركة، وهي حركة سريعة ينتج عنها تساقط الكتل الصخرية، الشكل (14).
4. الخسف SUBSIDE: حركة هذا النوع تكون عمودية بحيث تؤدي إلى خسف في المنطقة عند حدوث هزة أرضية، أو بفعل تشبعها بالماء.

أما عن معدلات حركة الانهيارات الأرضية وسرعة زحفها، فيمكن تقسيمها إلى:

1. زحف بطيء يقدر بنحو مليمترات أو سنتيمترات في السنة.
2. زحف سريع يقدر بنحو 1.5 متر في اليوم.
3. زحف سريع جداً يقدر بنحو عشرات الأمتار في الثانية.

تؤدي الانهيارات الأرضية إلى عواقب كارثية على النشاط البشري، وآثار مدمرة للممتلكات والبنى التحتية والخدمات تقدر بملايين الدولارات، كما تؤدي إلى سقوط آلاف الضحايا عندما تجتاح مساكنهم وأماكن أعمالهم أطنان من الطين أو الصخور المنهارة، وهم آمنون يمارسون حياتهم وأعمالهم المعتادة.

2.4.2. المنهجية النظرية المتبعة في إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية

اعتمدنا في الدراسة على 14 عاملاً (الميل ـ اتجاه الميل ـ الارتفاع ـ المسافة عن الفوالق ـ المسافة عن الأنهار ـ المسافة عن الطرق ـ نسبة تسطح المنطقة ـ دليل الرطوبة الطبوغرافي ـ دليل قوة التيار المائي ـ الليثولوجيا ـ استخدام الأرض ـ انحناء المقطع الجانبي ـ الانحناء المستوي ـ الانحناء المماسي)، وقمنا بتحليل العلاقة إحصائياً فيما بينها وبين مجموعة مختارة عشوائياً من الانهيارات الأرضية الموجودة في المنطقة (45 نقطة) باستخدام برنامج ARCGIS 10.2، ثم جمعنا الطبقات الأخيرة الناتجة عن التحليلات، وأعدنا تصنيفها لإنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية على كامل المنطقة [9].

تدرج العوامل المدروسة على أنها عوامل شرطية ليصبح للمنطقة قابلية التحرك دون حدوث بداية فعلية لانهيار أرضي، فالعوامل المسببة للانهيارات كالهطول المطري والزلازل تعطي للحركة دافعاً بتغيير حالة الميول

في المنطقة من مستقرة قليلاً إلى عديمة الاستقرار. لذا، تعتبر هذه العوامل مسؤولة عن حدوث الانهيارات الأرضية ويمكن جمع البيانات الخاصة بها من المصادر المتاحة ومن الواقع.

تمت الدراسة الإحصائية من خلال حساب نسبة التكرار لكل صنف من كل عامل بتقسيم نسبتين وهما نسبة عدد البيكسلات التي تشغل كل صنف إلى العدد الكلي للبيكسلات على نسبة عدد نقاط الانهيارات الأرضية ضمن الصنف نفسه إلى العدد الكلي للانهيارات الأرضية [9] .

العوامل الشرطية المدروسة:

1) . الانحدار Slope: يعتبر العامل الأهم في تحليل استقرار الميول بسبب ارتباطه المباشر بالانهيارات، واستخدامه المتكرر في إعداد خرائط الحساسية لها. لذا، قمنا بإنتاج خريطة الميول اعتباراً من النموذج الارتفاعي الرقمي DEM لمنطقة الدراسة، وتقسيمها إلى 6 أصناف بهدف دراسة العلاقة بينها وبين الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

2) . اتجاه الميل Aspect: تؤثر بعض الأرصاد الجوية على استقرار الميل كاتجاه الهطول المطري، ومقدار السطوع الشمسي، والبناء الجيومورفولوجي للمنطقة. سطوح التلال التي تستقبل هطول مطري كثيف تصل إلى حد الإشباع بشكل أسرع وهذا يرتبط أيضاً بقدرة التسرب (قدرة إنفاذ المياه) الخاصة بالمنحدر والتي يتحكم بها مجموعة من العوامل كالميل الطبوغرافي، نوع التربة، المسامية، النفوذية، المحتويات العضوية، الرطوبة، الغطاء الأرضي والفصول المناخية، بالنتيجة يزداد ضغط المياه التي تتخلل بنية المنحدر. تمت دراسة العلاقة بين اتجاهات الميل التسعة وبين الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

3) . الارتفاع Altitude: عامل شرطي هام تتحكم به عدة عمليات جيولوجية وجيومورفولوجية. لاستخدام الارتفاع كأحد المتحولات المدخلة في إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية اعتمد نموذج ارتفاعي رقمي بدقة 10م* 10م، وتم تقسيمه إلى عشر نطاقات ارتفاعية بفاصل قدره 150 م بهدف دراسة العلاقة بينها وبين الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

4) . المسافة عن الفوالق Distance from faults: الفوالق هي خطوط أو مناطق ضعف متمثلة بصخور شديدة التكسر. نتيجة لعمليات تآكل انتقائية Selective erosion processes ولحركة انتقائية للمياه على طول مستويات الفوالق يبدأ احتمال التعرض لحدوث الانهيارات الأرضية. تم حساب البعد عن الفوالق على امتداد منطقة الدراسة، ثم أعدنا التصنيف إلى عشر مناطق بفاصل مسافة تكراري مقداره 100 م.

5) . المسافة عن الأنهار Distance from rivers: تعتبر درجة الإشباع في منطقة ذات ميل معين أحد العوامل الهامة التي تتحكم باستقرار الميل فيها كما يعتبر قرب المنحدر إلى شبكات الصرف عاملاً هاماً إضافياً. قد تؤثر الأنهار بشكل سلبي على استقرار الميول من خلال تآكلها أو بإشباع المنطقة الدنيا من المنحدر مما يؤدي إلى ارتفاع مستوى المياه. تم حساب البعد عن الأنهار على امتداد منطقة الدراسة، ثم أعدنا التصنيف إلى عشر مناطق بفاصل مسافة تكراري مقداره 100 م لتحديد درجة تأثيرها على المنحدرات.

6) . المسافة عن الطرق Distance from roads: بشكل مشابه لتأثير المسافة عن الأنهار من الممكن حدوث الانهيارات الأرضية على الطريق أو على جوانب المنحدرات قرب الطريق. الطريق المبني بجانب المنحدرات يؤدي إلى تغير في طبوغرافية المنحدر وإلى تناقص الحمل على سفحه. بالنتيجة يزداد الإجهاد على الجزء الخلفي من المنحدر وتنشط بعض الصدوع المتوترة Tension cracks. تم حساب البعد عن الطرق الرئيسية والدولية على امتداد منطقة الدراسة، ثم أعدنا التصنيف إلى عشر مناطق بفاصل مسافة تكراري مقداره 100 م لتحديد درجة تأثير هذه الطرق على استقرار الميول.

7) . نسبة تسطح المنطقة Surface Area Ratio SAR : يعتبر هذا العامل مفيداً في قياس الخشونة الطبوغرافية لسطح الأرض والتوائه. القيم المساوية لـ 1 تدل على نعومة السطح بينما القيم الأكبر من 1 تدل على خشونته [5]. ويمكن حساب نسبة مساحة السطح في أي منطقة من المنظر الأرضي بتقسيم مساحة السطح في هذه المنطقة S على المساحة البلانيمترية (Planimetric Area) A_S بالعلاقة (3) :

$$SAR = S/A_S \qquad (3)$$

8) . دليل الرطوبة الطبوغرافي Topographic wettness Index TWI : يشير إلى التوزع المكاني لرطوبة التربة وسطح الإشباع، وله الأهمية في وصف التشابه الهيدرولوجي للمنطقة المعرضة للانهيار عن طريق تحديد مقدار تحكم طبوغرافية هذه المنطقة في العملية الهيدرولوجية [10]. يحسب من المعادلة (4) :

$$TWI = \ln\left(\frac{A_S}{tan\beta}\right) \qquad (4)$$

حيث A_S – هي مساحة منطقة الحوض وتقدر بـ m^2/m.

β – هي الميل المقدر بالدرجات.

تم تصنيف الدليل إلى 4 أصناف بطريقة Natural Breaks وقمنا بدراسة العلاقة بينها وبين الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

9) . دليل قوة االتيار المائي Stream Power Index SPI: هو قياس قوة تدفق المياه استناداً إلى الافتراض بأن تدفق الصرف متناسب مع مساحة مستجمع محدد. كلما زادت مساحة حوض المنطقة وزاد ميلها فإن كمية وسرعة المياه التي تساهم في المناطق ذات الميول العالية تزداد وكذلك سرعة تدفق المياه تزداد بالتالي فإن قيمة SPI تزداد وخطر تآكل المنحدر يزداد [10]، يحسب من المعادلة (5):

$$SPI = A_S * tan\beta \quad (5)$$

حيث: A_S – هي مساحة منطقة الحوض وتقدر بـ m^2/m.

β – هي الميل المقدر بالدرجات.

تم تصنيف الدليل إلى 6 أصناف بطريقة Natural Breaks وقمنا بدراسة العلاقة بينها وبين الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

10) . الليثولوجيا Lithology: كثيراً ما تتحكم الخصائص الليثولوجية لسطح الأرض بالانهيارات الأرضية، فلكل وصف ليثولوجي قيمة مختلقة لقابلية حدوث الانهيارات الأرضية، وتمتلك هذه القيم أهمية كبيرة جداً من أجل التزود بالبيانات اللازمة لإنتاج خرائط الحساسية. تمت دراسة العلاقة بين التصنيفات الليثولوجية (12 تصنيفاً) وبين الانـهيارات الأرضية في منطقة الدراسة.

11) . استخدام الأرض Land Use: أكد عدد كبير من الدراسات على أهمية تأثير هذا العامل على الانهيارات الأرضية. يوجد في منطقة الدراسة 14 نوع مختلف لاستخدامات الغطاء الأرضي تمت دراسة العلاقة المكانية بينها وبين الانهيارات الأرضية.

12) انحناء المقطع الجانبي Profile Curvature: هو مقدار الانحناء الموازي لاتجاه الميل الأعظم، ويشير أحياناً إلى الانحناء الرأسي حيث يتم حساب مقدار الانحناء بشكل مباشر أسفل المنحدر وله واحدة القياس 100/m. يشرح هذا العامل كيفية تأثر حركة السوائل أسفل سفوح التلال فقد تتسارع أو تتباطأ استناداً إلى تقعر المنحدر أو تحدبه أو كونه منبسطاً. تسهم المنحدرات المحدبة عموماً في زيادة عمليات التآكل بسبب تسارع جريان السوائل أثناء حركتها أسفل سفوح التلال. تتراوح القيم لهذا العامل من الموجب إلى السالب، حيث تمثل القيم الموجبة البيكسلات المقعرة والقيم السالبة تمثل البيكسلات المحدبة، والقيم القريبة من الصفر تمثل تسطح الأرض [5].

13) الانحناء المستوي Plan Curvature: هو مقدار الانحناء المتعامد مع اتجاه الميل الأعظم. ويشير أحياناً إلى الانحناء الأفقي حيث يتم حساب مقدار انحناء المنحدر بشكل عرضي نسبة لخطوط التسوية وله

واحدة القياس 100/m. يشرح هذا العامل كيفية تقارب أو تباعد السوائل بينما تتحرك أسفل المنحدر. تسهم المنحدرات المحدبة في زيادة التآكل لأن السوائل تتركز وتتراكم أثناء تدفقها أسفل المنحدر وبالتالي يحدث التآكل بسهولة أكثر من المنحدرات المقعرة. تتراوح القيم لهذا العامل من الموجب إلى السالب، حيث تمثل القيم الموجبة البيكسلات المحدبة والقيم السالبة تمثل البيكسلات المقعرة، والقيم القريبة من الصفر تمثل تسطح الأرض[5].

14) الانحناء المماسي Tangential Curvature: هو أحد الخصائص الطبوغرافية الأساسية. يقاس في اتجاه المماس لخط الكونتور وله واحدة القياس 100/m، ويمثل تغيرات محلية في اتجاه الكونتور حيث ترتبط هذه التغيرات بالجريان حسب الجاذبية الأرضية. تمثل القيم الأقل من صفر عملية الترسيب بينما تمثل القيم الأعلى من صفر عملية التآكل[9].

أخيراً، حصلنا على خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية بتطبيق العلاقة لدليل الحساسية للانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة [10]، حسب المعادلة (6):

$$LSI = \sum_{i=1}^{14} fr \qquad (6)$$

حيث : LSI - دليل الحساسية للانهيارات الأرضية Landslide sensitivity index

fr - نسبة التكرار المحسوبة لكل عامل من العوامل المعتمدة

i- رقم أحد العوامل وله القيم من 1 إلى 14

بإعادة تصنيف الخريطة إلى 5 أصناف باستخدام طريقة الحدود الطبيعية "Jenks" نحصل على درجات الحساسية في منطقة الدراسة.

2.5. إنتاج خريطة الحساسية النهائية

في هذه المرحلة أظهرت خريطتي الحساسية السابقتين بشكل خريطة حساسية واحدة نهائية تم من خلالها توضيح تقاطع المناطق تبعاً لدرجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية مع درجات الحساسية للانهيارات الأرضية باستخدام الرموز والألوان المناسبة، وأخيراً قمنا بشرح النتائج ووضع التوصيات والمقترحات اللازمة.

الفصل الثالث : الخطوات العملية المتبعة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط الحساسية في منطقة الدراسة والنتائج

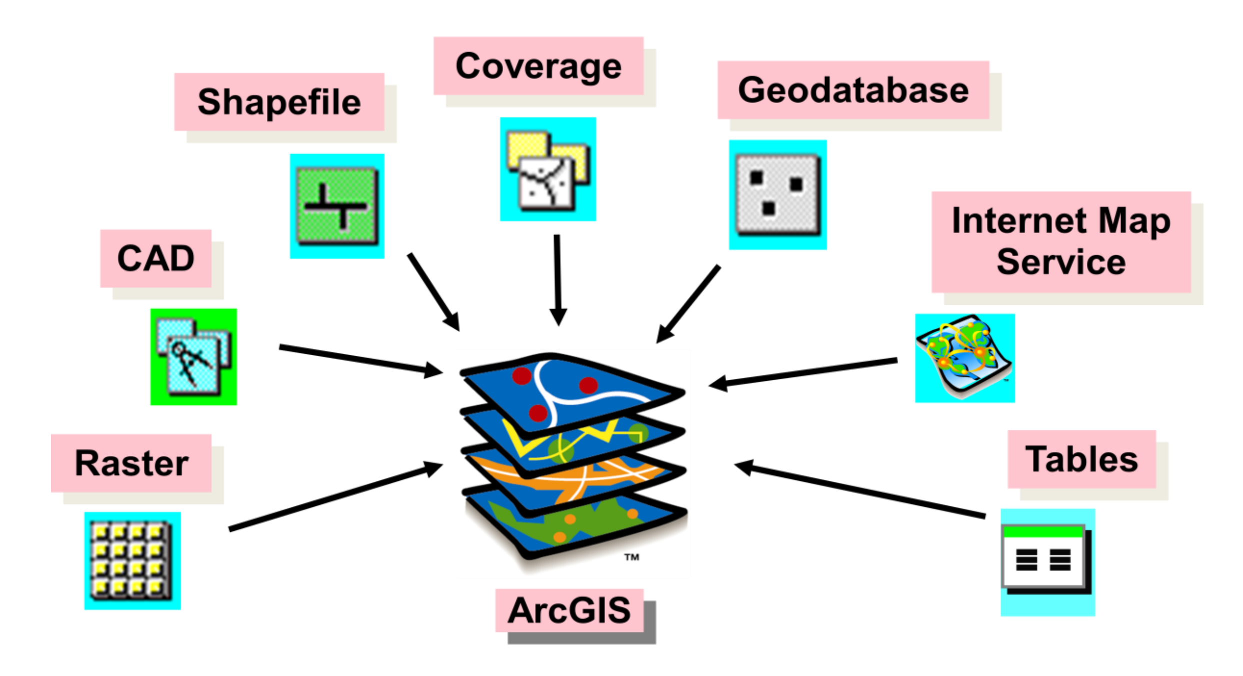
3.1. نظم المعلومات الجغرافية: تعريفها، لمحة تاريخية عنها، فوائدها

- تعرف نظم المعلومات الجغرافية بأنها علم جمع وإدخال ومعالجة وتحليل وعرض وإخراج المعلومات الجغرافية والوصفية لأهداف محددة. هذا التعريف يتضمن مقدرة النظم على: إدخال المعلومات الجغرافية (خرائط, صور جوية, مرئيات فضائية) والوصفية (أسماء, جداول)، معالجتها (تنقيحها من الخطأ), تخزينها, استرجاعها, تفسيرها, تحليلها (تحليل مكاني وإحصائي), وعرضها على شاشة الحاسب أو على ورق بشكل خرائط, تقارير ورسومات بيانية.
- بنظرة تاريخية خاطفة نجد أن نظم المعلومات الجغرافية بدأت في كندا عام 1964 م على يد روجر توملنسون الملقب بأبي نظم المعلومات الجغرافية. خلال فترة السبعينيات زاد عدد الشركات المتخصصة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، وشهدت فترة الثمانينيات زيادة في الميزانية المرصودة للهيئات الحكومية، والشركات الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية, وكذلك زيادة في عدد المتخصصين وانخفاضاً في أسعار أجهزة الحاسب والبرمجيات. وفي حقبة التسعينيات تحسنت البرمجيات، وأصبح بإمكان برنامج واحد القيام بأعمال كانت في الماضي تحتاج لأكثر من برنامج. وبتطور أجهزة الحاسب خلال الألفية الثالثة بدأ استخدام الوسائط المتعددة وشبكة الإنترنت، ومن المتوقع أن تشهد الفترة القادمة ثورة في استخدام الخرائط المتحركة بفضل التطور الملحوظ في أجهزة الحاسب المحمولة يدوياً (Palm PC, الإنترنت, والاتصال اللاسلكي (WAP)).
- تساعد نظم المعلومات الجغرافية في الإجابة على كثير من التساؤلات كتلك التي تخص: التحديد, القياسات, الموقع، الشروط، التغير، التوزيع النمطي، وأمثل الطرق. هناك فوائد كثيرة لهذه النظم يمكن تلخيصها بما يلي:
  - تخفيض زمن الإنتاج وتحسين الدقة.
  - تخفيض الحاجة إلى اليد العاملة.

- تخفيض التكلفة.

3.2. برنامج نظم المعلومات الجغرافية ARCGIS 10.2

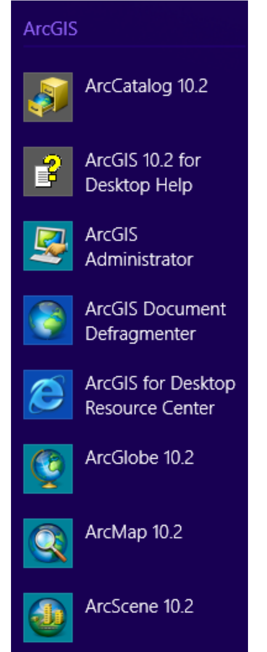
برنامج ARCGIS10.2 الشكل (17) من إنتاج شركة ESRI (معهد بحوث النظم البيئية) Environmental Systems Research Institute يتعامل مع مجموعة متنوعة من البيانات الشكل (15).



الشكل (15) مجموعة البيانات التي يتعامل معها ArcGis

يتكون ARCGIS10.2 من أربعة برامج فرعية أساسية الشكل (16):

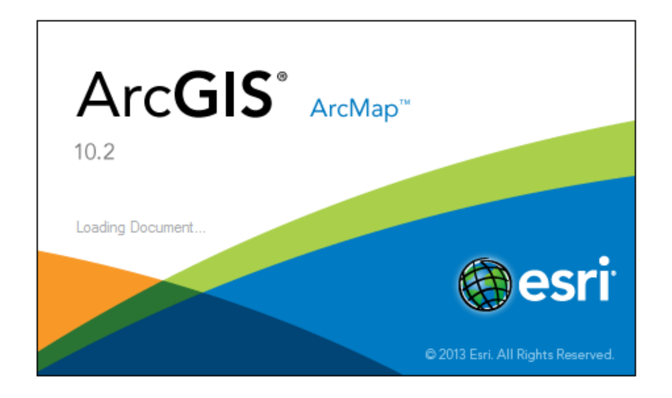
1. ArcCatalog 10.2 : برنامج لإنشاء الملفات، والطبقات، وإعدادها.
2. ArcMap 10.2: البرنامج الرئيسي، وغالباً ما يصطلح عليه ArcGis، وهو خاص بإنشاء وإعداد الخرائط باستخدام عدد كبير من الأدوات.
3. ArcScene 10.2: برنامج خاص بالتحليل ثلاثي الأبعاد وتصميم المجسمات ثلاثية الأبعاد.
4. ArcGlobe 10.2: يعطي هذا البرنامج إمكانية مشاهدة الخرائط والأعمال على صور من ArcGis ، لكنه يتطلب وجود ارتباط بشبكة الإنترنت حتى يتمكن من تحميل الصور.



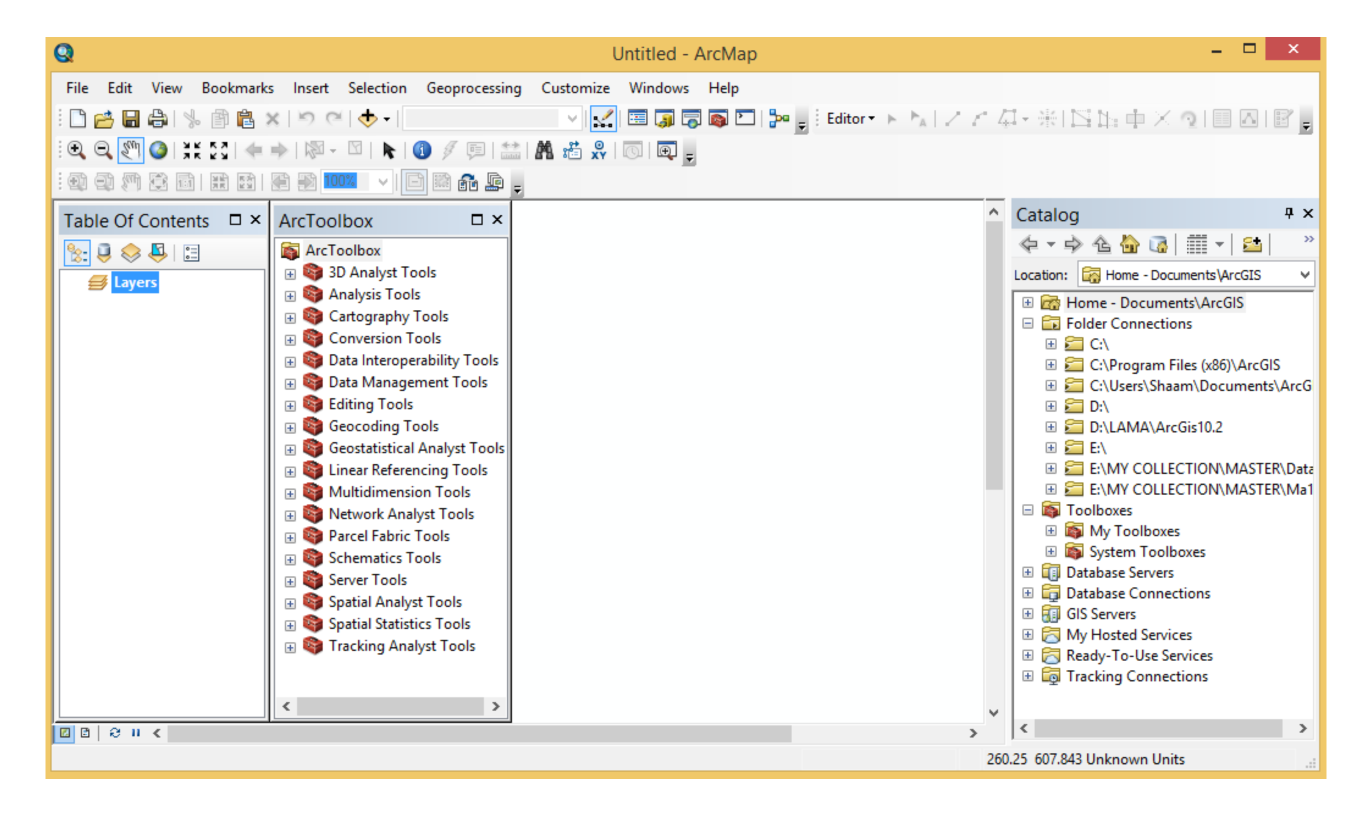
الشكل (16) البرامج الفرعية لـ ArcGis

توجد في برنامج ArcMap 10.2 الشكل (17) مجموعة من الواجهات الرئيسية الشكل (18) هي:

- ArcCatalog: يسمح بالدخول إلى البيانات المخزنة في مجلدات على القرص وإدارتها، ويمكّن من نسخ البيانات، وتحريكها، ومسحها، ورؤيتها بشكل سريع. إضافة إلى إمكانية تخزين البيانات الوصفية Metadata.
- ArcMap: يسمح للمستخدم بإظهار وتحرير وإجراء الاستعلامات والتحليلات على الخرائط.
- ArcToolbox: يسمح بإجراء عمليات استخراج لبيانات معينة، وكذلك عمليات التحويل بين صيغ مختلفة، وهناك العديد من عمليات التحليل الممكنة داخله.



الشكل (17) واجهة إقلاع برنامج ArcMap



الشكل (18) الواجهة الرئيسية لبرنامج ArcMap

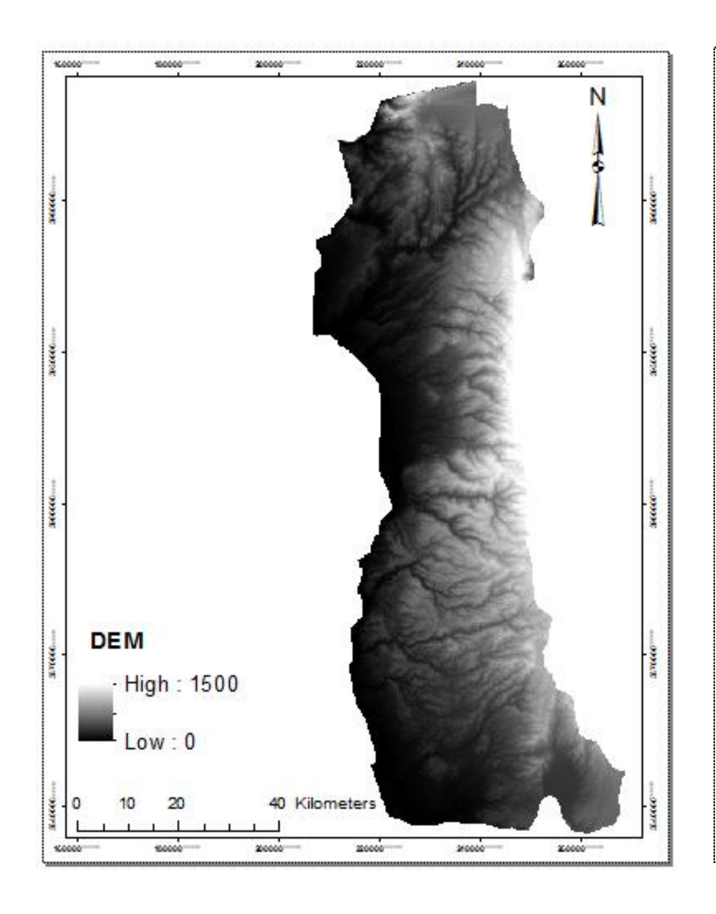
3.3. البيانات المستخدمة في إنجاز البحث ومصادرها

إن عملية البحث عن مصادر البيانات وتجميعها كانت من أصعب مراحل الدراسة وأدقها وذلك من ناحية تحديد الجهات المتوفرة لديها البيانات والزمن الذي تطلبه الحصول عليها، لذا وجبت الإشارة إلى الوزارات التي من خلالها استطعنا الحصول على البيانات المطلوبة وهي :

- وزارة البيئة.
- وزارة النفط والثروة المعدنية.
- وزارة الزراعة.
- وزارة الاتصالات والتقانة.

تم الاعتماد في البحث على طبقات البيانات التالية :

الشكل (20) الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة



الشكل (19) النموذج الارتفاعي الرقمي لمنطقة الدراسة (متر)

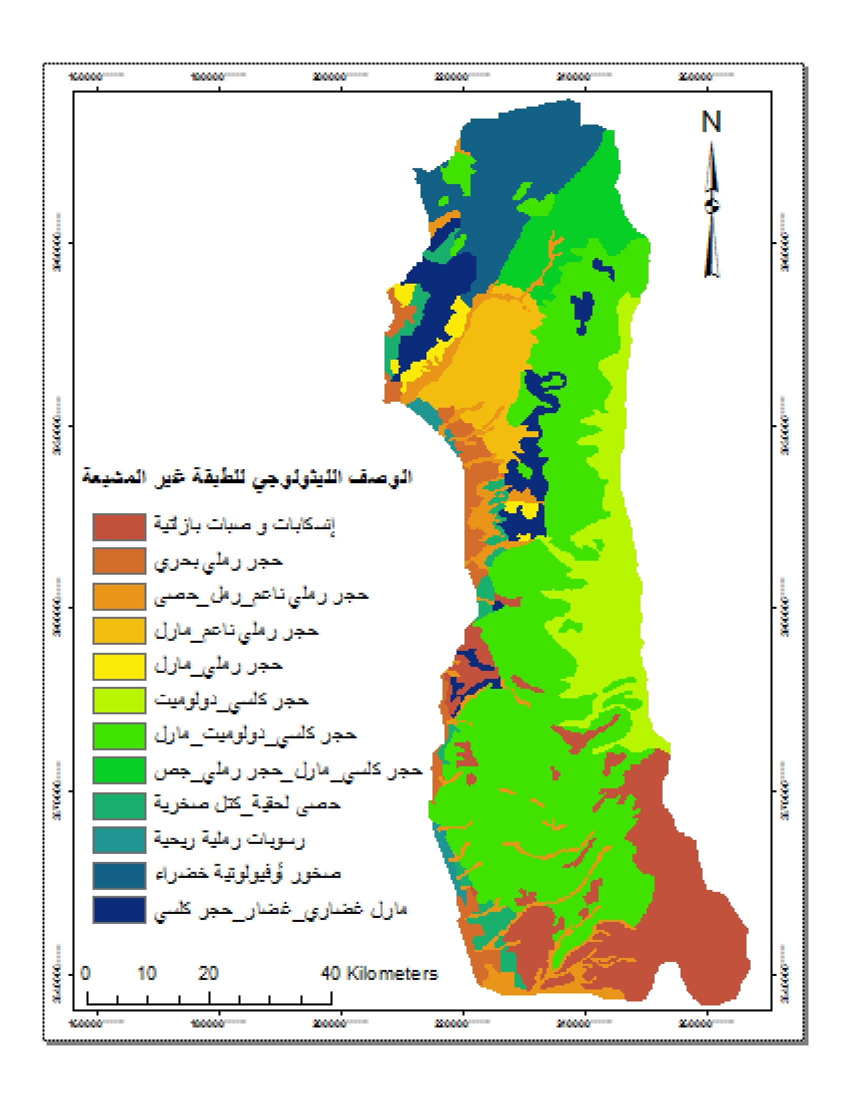
1. طبقة نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة 10 م *10 م الشكل (19).
2. طبقة الآبار Wells الشكل (31).
3. طبقة الليثولوجيا Lithology الشكل (21).
4. طبقة الفوالق Faults الشكل (36).
5. طبقة شبكة الصرف الصحي Drainage Network الشكل (39).
6. طبقة نسيج التربة Soil Texture الشكل (27).
7. طبقة معدلات الهطول المطري السنوي من عام 1970 إلى عام 2000 Annual Rainfall Average الشكل (34).
8. طبقة الأنهار الرئيسية Main Rivers الشكل (61).
9. طبقة الطرق الدولية والرئيسية Main Roads & Highways الشكل (64).
10. طبقة استخدامات الأراضي Land Use الشكل (69).
11. طبقة الانهيارات الأرضية Landslides الشكل (20).

3.4. الخطوات العملية المتبعة للحصول على خريطة الحساسية للمياه الجوفية للتلوث و مناقشة النتائج

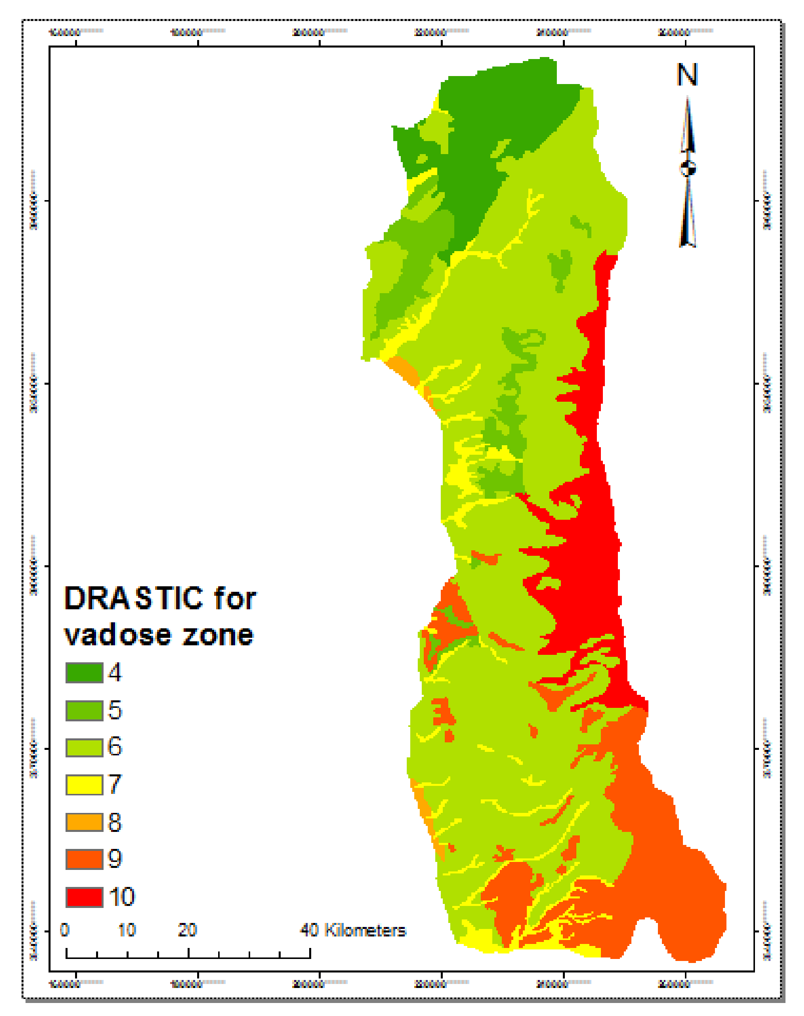
تمت دراسة العوامل الستة في الفصل الثاني نظرياً، وفي هذا الفصل نستعرض طبقات البيانات قبل وبعد إجراء التحليلات المطلوبة عليها باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ARCGIS 10.2، كما هو مبين بالخطوات التالية تباعاً علماً بأن نظام الإسقاط المستخدم هو WGS_1984_UTM_ZONE_37N وسطح الإسناد Datum هو D_WGS_1984.

3.4.1 تحليل تأثير الطبقة غير المشبعة بالماء Impact of The Vadose Zone

في الشكل (21) تظهر لدينا طبقة البيانات الموضحة للوصف الليثولوجي للعصر الجيولوجي المتكشف _ طبقة عدم الإشباع _ في منطقة الدراسة، ونتيجة إعادة التصنيف تبعاً لتقدير DRASTIC للطبقة غير المشبعة حسب الجدول (11) حصلنا عليها بالشكل (22).



الشكل (21) الطبقة غير المشبعة في منطقة الدراسة



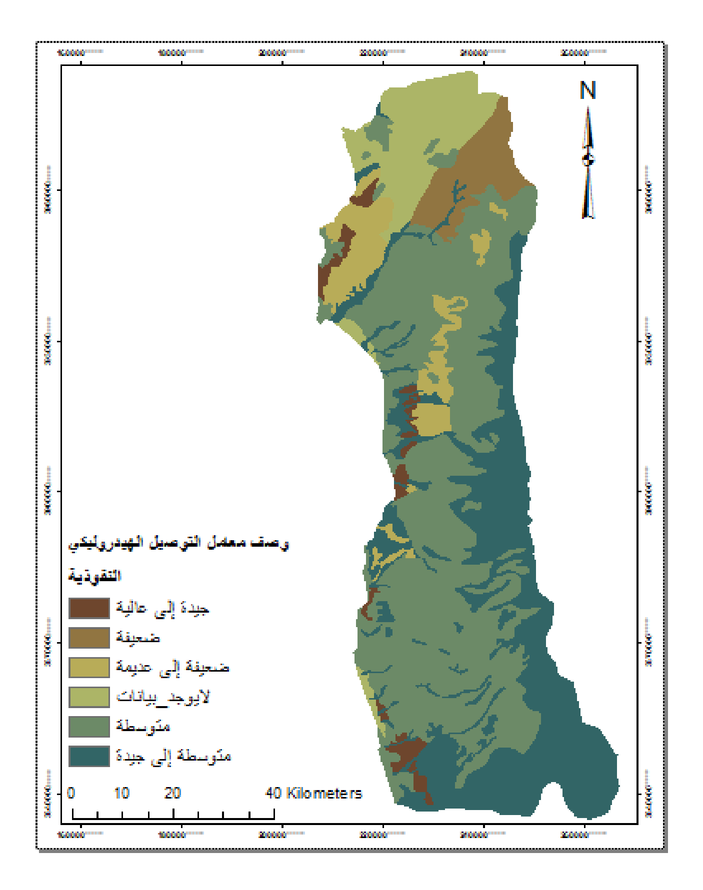
الشكل (22) القيم التقديرية لطبقة عدم الإشباع تبعاً لـ DRASTIC

- دوماً لحساب طبقة إعادة التصنيف نتبع المسار :

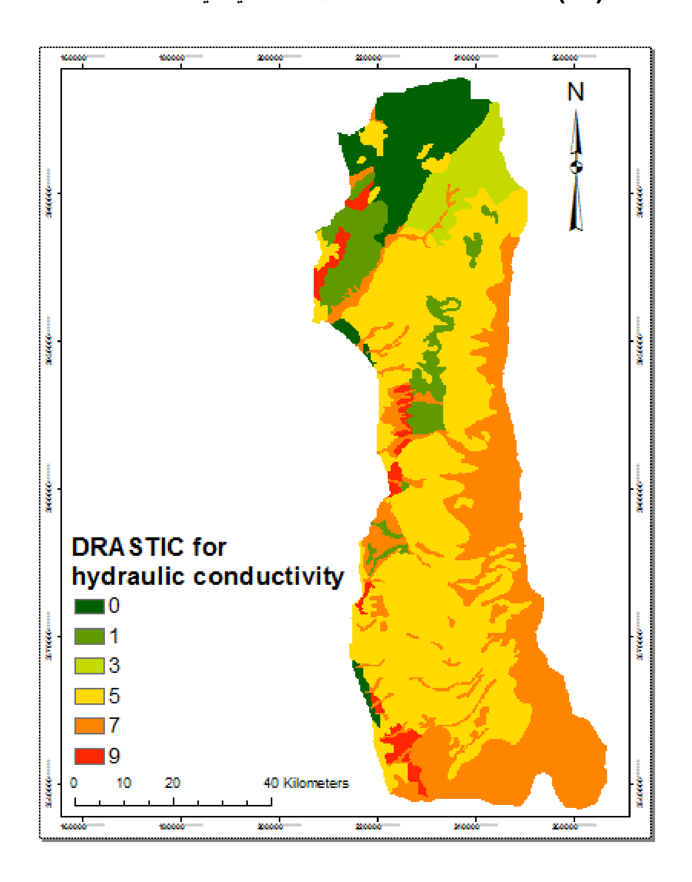
Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify

3.4.2 تحليل تأثير معامل التوصيل الهيدروليكي (النفوذية) Hydraulic Conductivity

تظهر في الشكل (23) طبقة البيانات الموضحة لوصف عامل النفوذية في منطقة الدراسة، ونتيجة إعادة تصنيفها تبعاً لتقدير DRASTIC حسب الجدول (9) حصلنا عليها بالشكل (24).



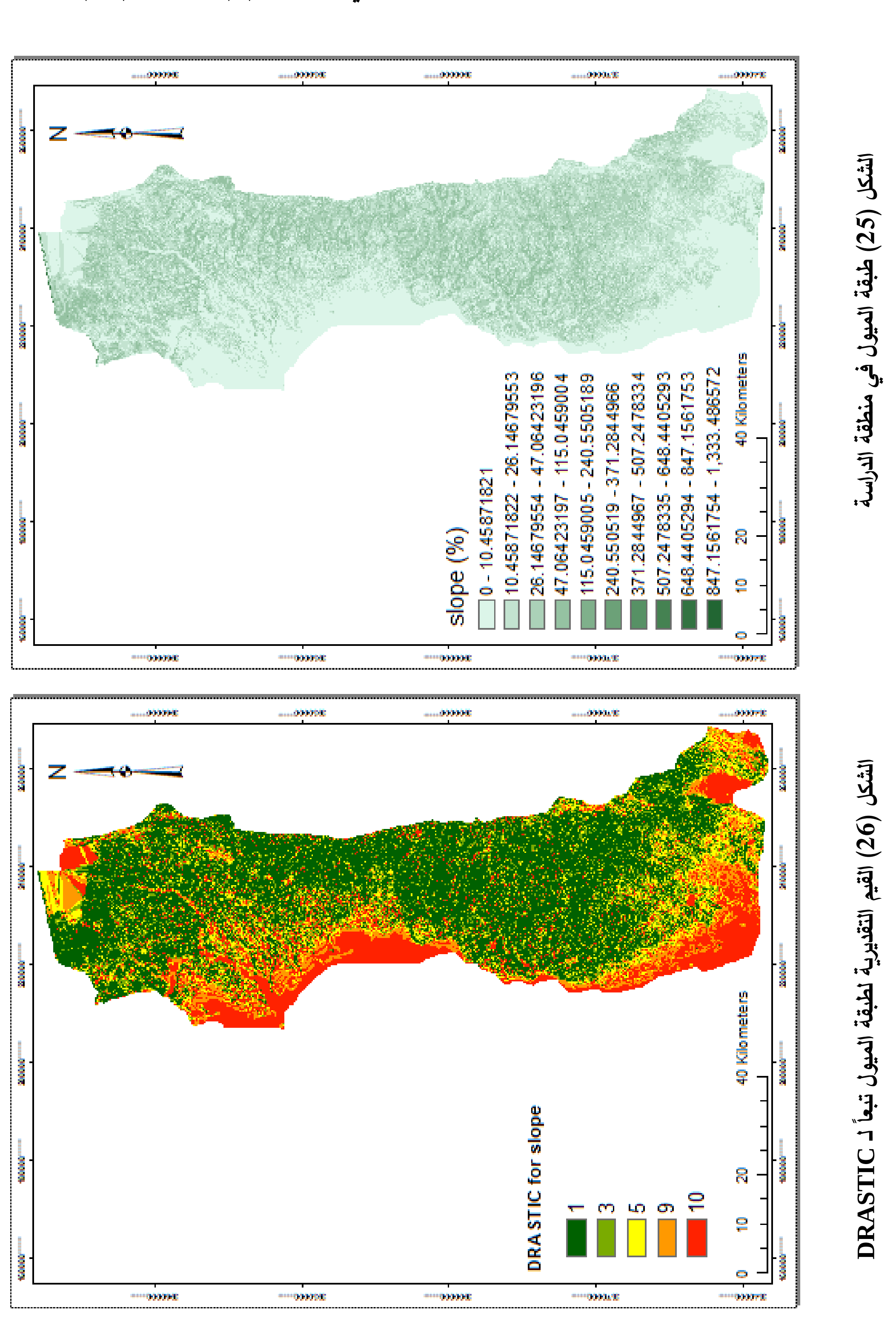
الشكل (23) طبقة معامل التوصيل الهيدروليكي في منطقة الدراسة



الشكل (24) القيم التقديرية لمعامل التوصيل الهيدروليكي تبعاً لـ DRASTIC

3.4.3 تحليل تأثير العامل الطبوغرافي Slope %

اعتباراً من طبقة البيانات الموضحة للنموذج الارتفاعي الرقمي لمنطقة الدراسة DEM في الشكل (19). تم حساب طبقة الميول بشكل نسبة مئوية الشكل (25) من : Spatial Analyst Tools → Surface → Slope وأخيراً أعيد تصنيفها حسب تقدير DRASTIC كما في الجدول (8) الشكل (26).

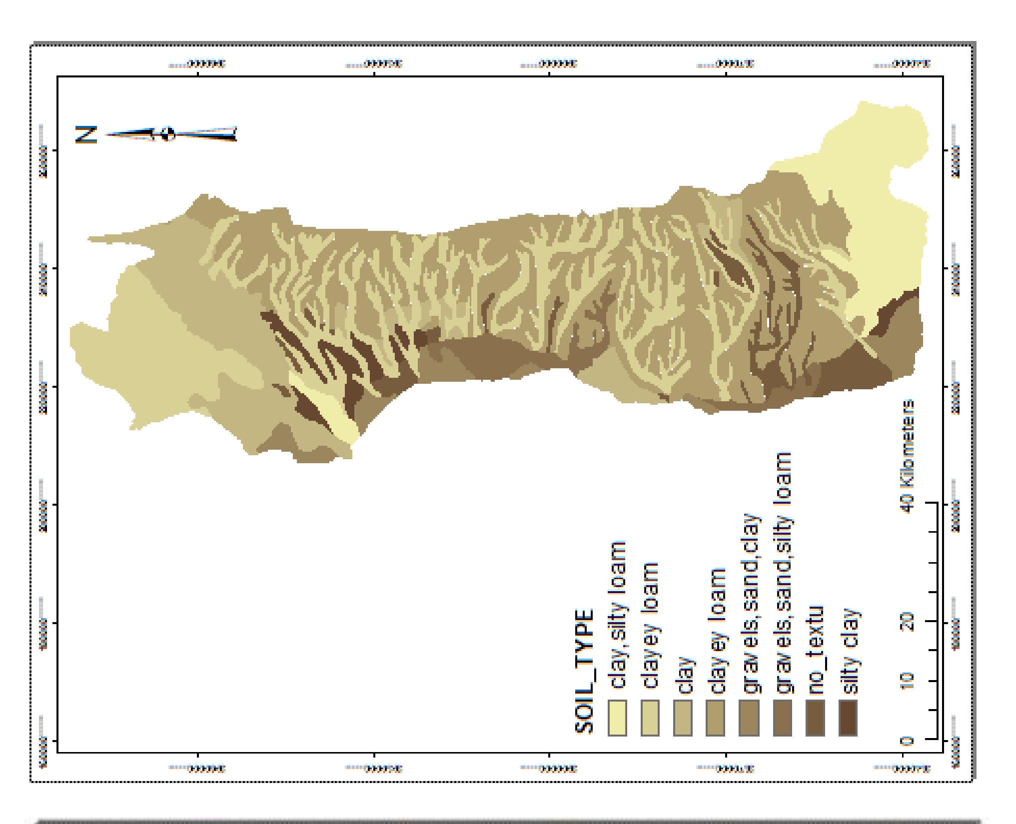


الشكل (25) طبقة الميول في منطقة الدراسة

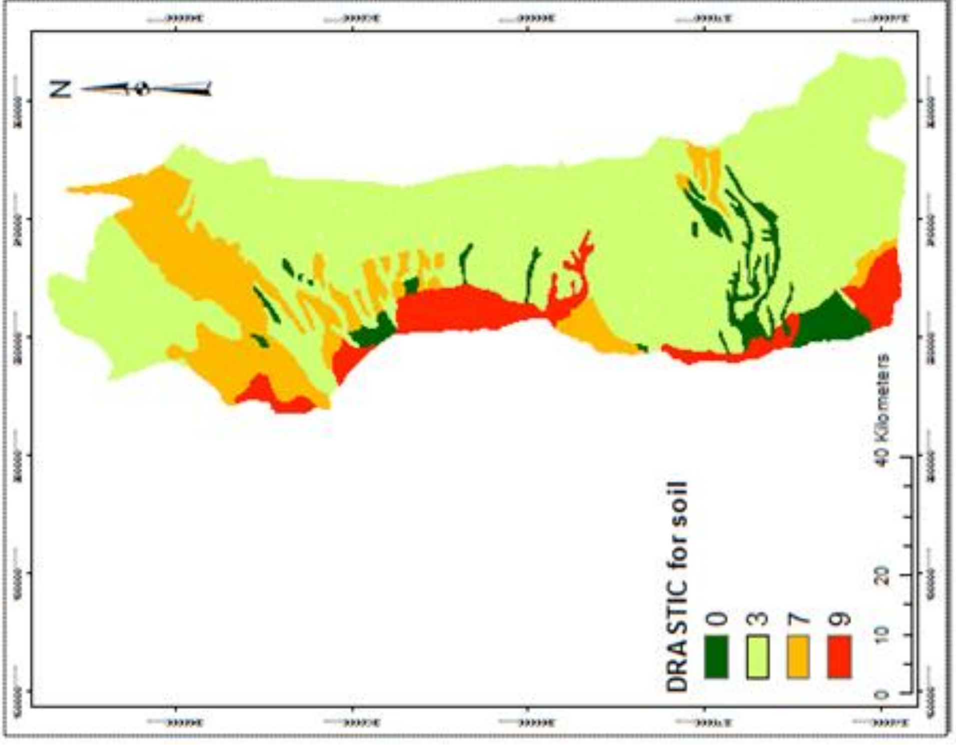
الشكل (26) القيم التقديرية لطبقة الميول تبعاً لـ DRASTIC

3.4.4 تحليل تأثير طبقة نسيج التربة Soil Media

تظهر طبقة البيانات الموضحة لنسيج التربة في المنطقة بالشكل (27)، والتي تمت إعادة تصنيفها حسب تقدير DRASTIC كما في الجدول (6) والنتيجة في الشكل (28).



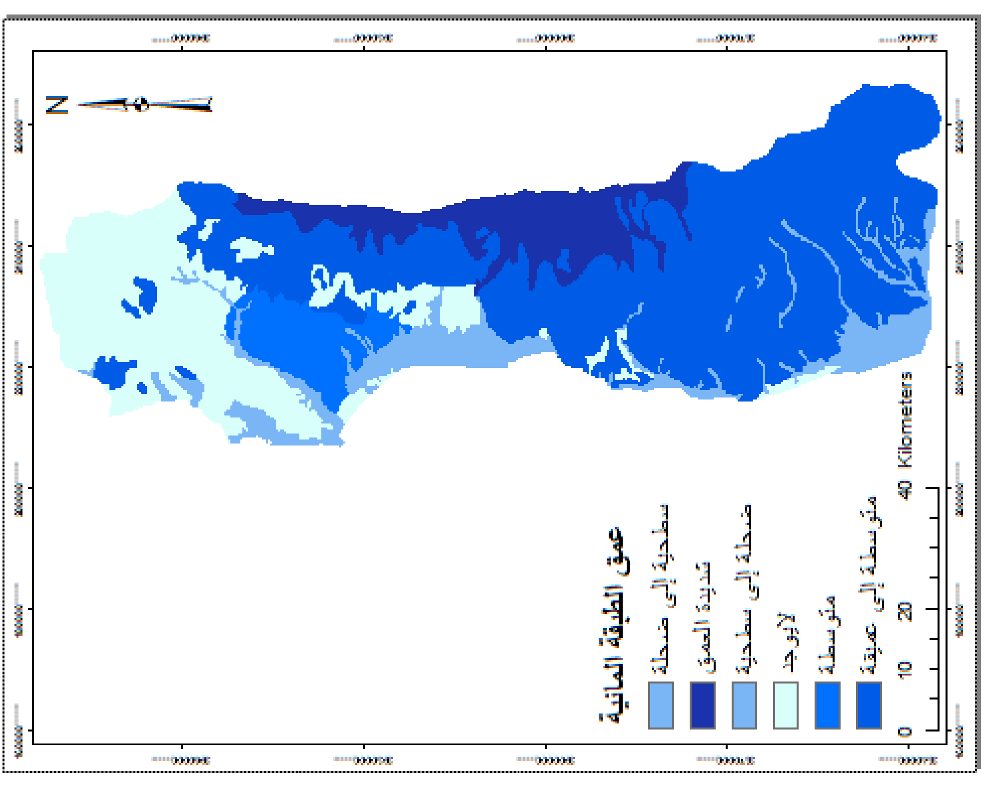
الشكل (27) طبقة أصناف نسيج التربة في منطقة الدراسة



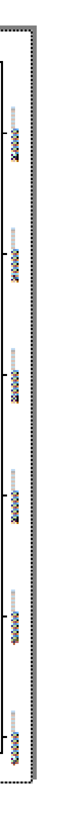
الشكل (28) القيم التقديرية لنسيج التربة تبعاً لـ DRASTIC

3.4.5 تحليل تأثير عمق الطبقة المائية Depth to Water

في الشكل (29) تظهر طبقة البيانات الموضحة لأعماق الطبقة المائية على امتداد منطقة الدراسة، وتتبين نتيجة إعادة تصنيفها حسب تقدير DRASTIC تبعاً للجدول (2) على الشكل (30).

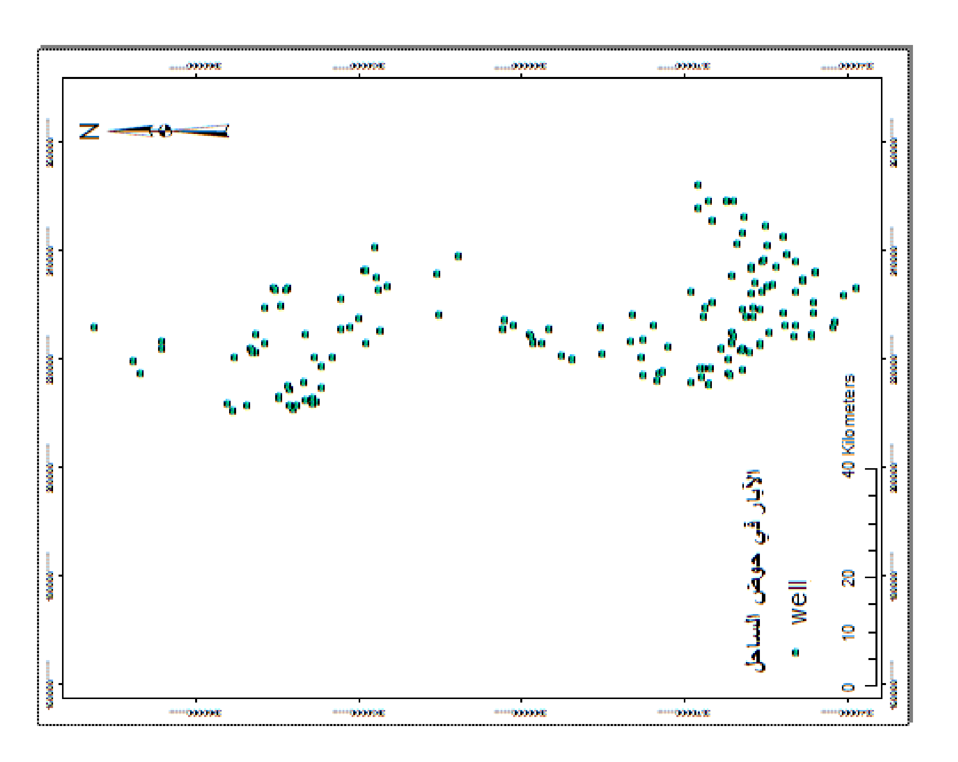


الشكل (29) أعماق الطبقة المائية في منطقة الدراسة

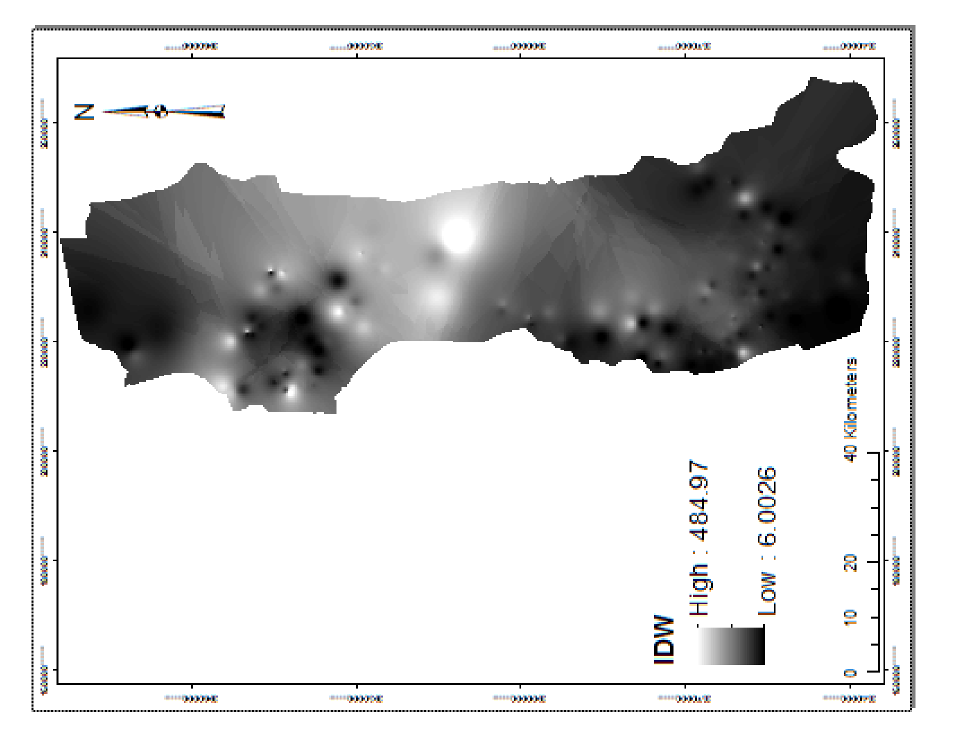


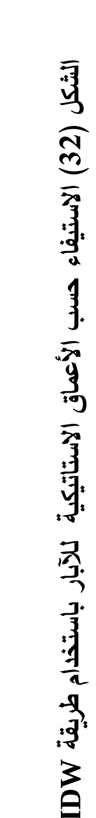
الشكل (30) القيم التقديرية لأعماق الطبقة المائية تبعاً لـ DRASTIC

اعتمدنا أيضاً على طبقة توضح توزع الآبار Wells في منطقة الدراسة الشكل (31) كتحقيق للعمل كما ذكرنا سابقاً، وذلك حسب العمق الاستاتيكي لها، وباستخدام طريقة الاستيفاء IDW حصلنا على سطح ممثل للأعماق من : Spatial Analyst Tools → Interpolation → IDW بالشكل (32). بالتالي، كانت نتيجة إعادة التصنيف حسب تقدير DRASTIC لطبقة IDW حسب الجدول (3) بالشكل (33).

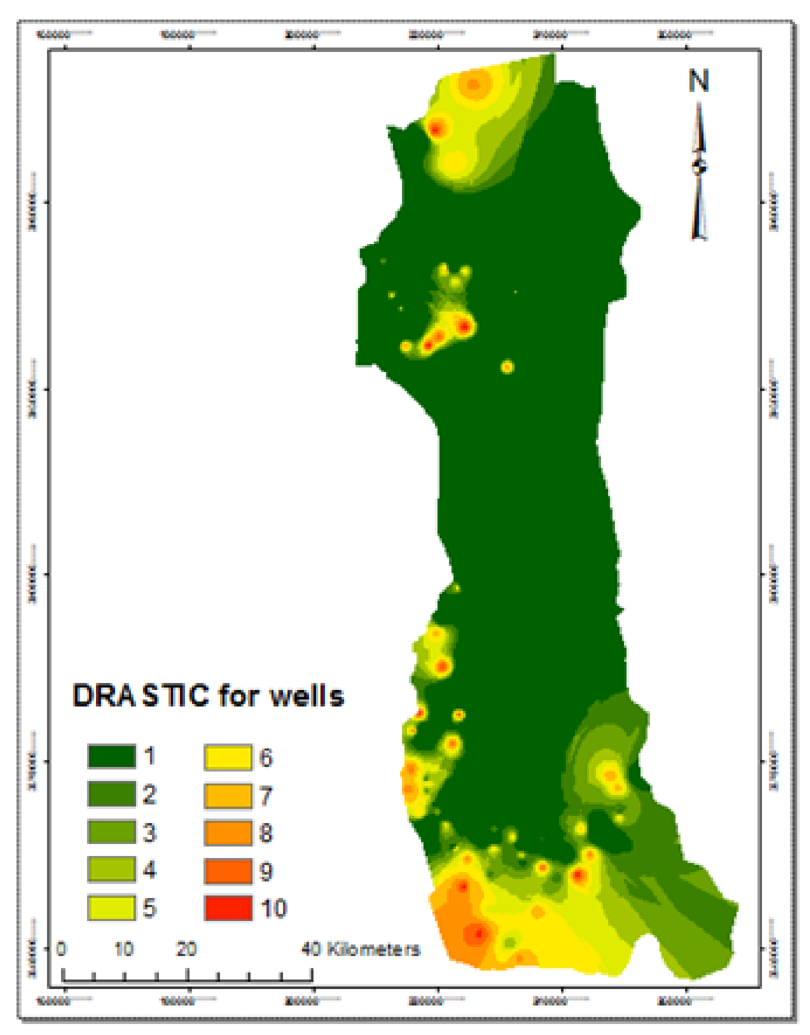


الشكل (31) طبقة الآبار الموجودة في منطقة الدراسة





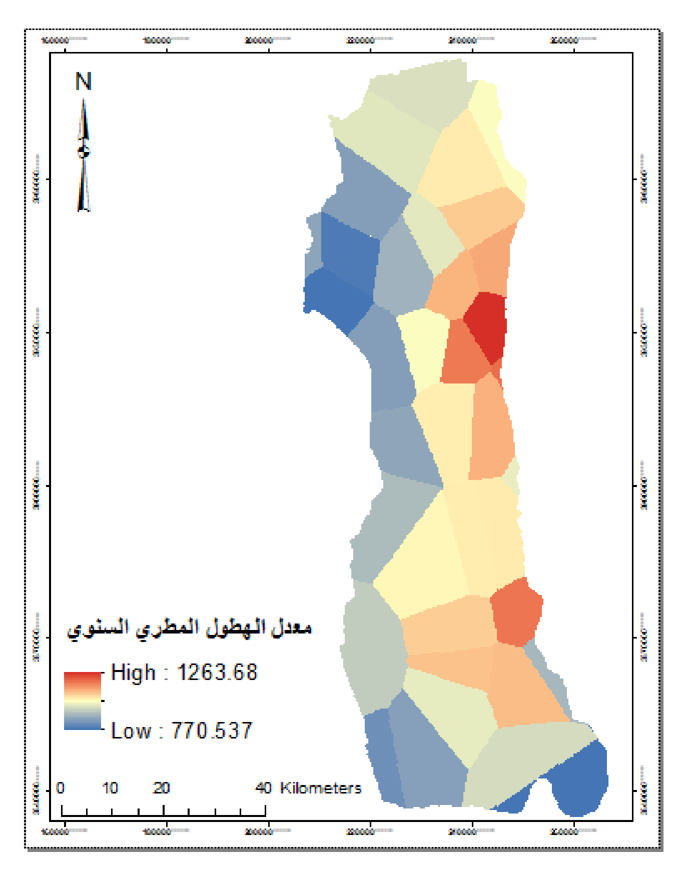
الشكل (32) الاستيفاء حسب الأعماق الاستاتيكية للآبار باستخدام طريقة IDW



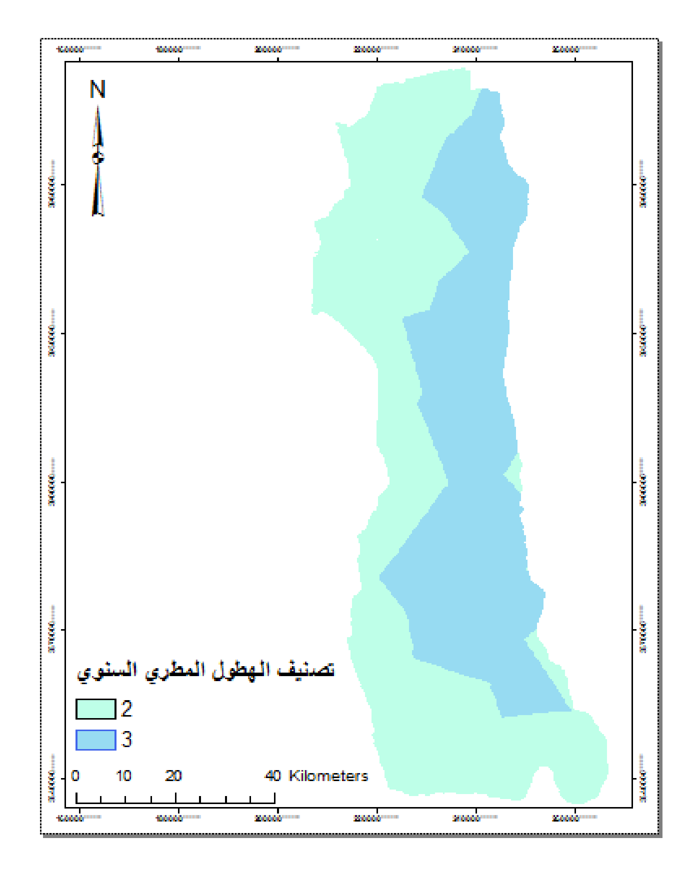
الشكل (33) القيم التقديرية لأعماق الآبار تبعاً لـ DRASTIC

3.4.6 تحليل تأثير قيمة معدل التغذية Recharge Value

لحساب تأثير معامل معدل التغذية كان لزاماً علينا إنتاج طبقات العوامل المتعلقة به حسب المعادلة (1)، في الشكل (34) مبينة طبقة البيانات لمعدلات الهطول المطري السنوي في منطقة الدراسة من عام 1970 وحتى عام 2000. نتيجة التصنيف تبعاً لتقدير DRASTIC لمعدلات الهطول المطري حسب الجدول (4) حصلنا عليها بالشكل (35).



الشكل (34) طبقة معدلات الهطول المطري السنوي (ميليمتر في السنة)

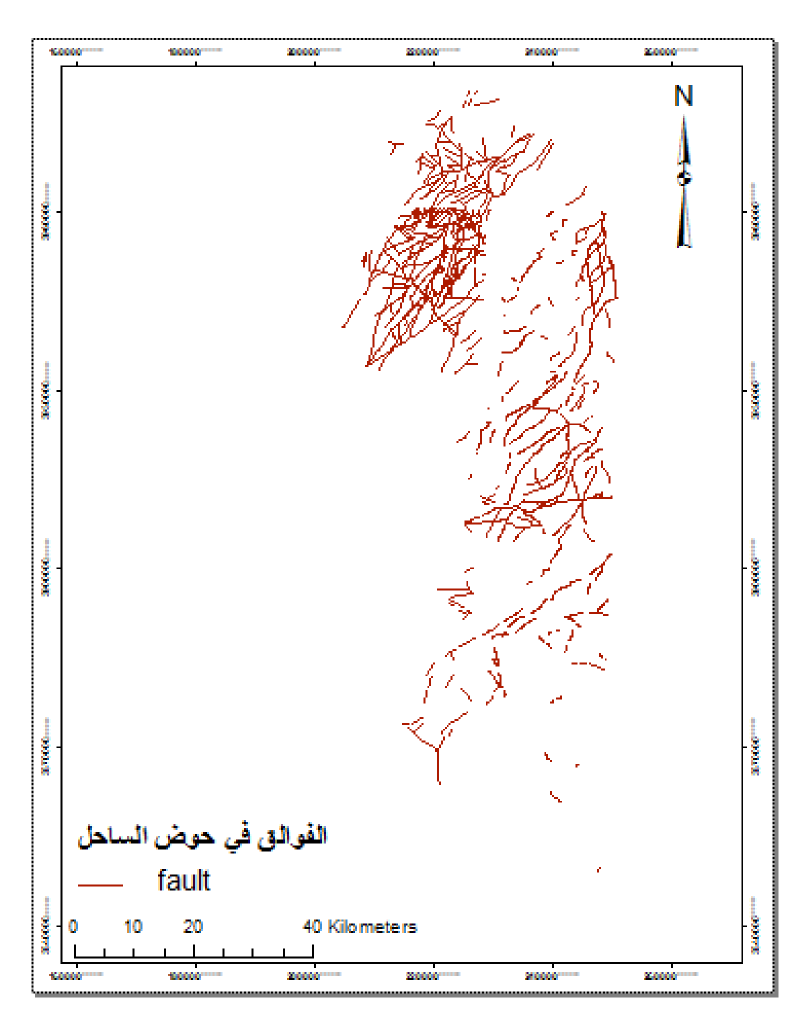


الشكل (35) طبقة معدلات الهطول المطري السنوي بعد إعادة التصنيف

تعتمد دراسة هذا العامل على حساب البعد عن الفوالق الشكل (36) التي تمثل مصرفاً مباشراً للمياه السطحية إلى الخزان الجوفي، وبعد حساب المسافات عن الفوالق الشكل (37) على امتداد المنطقة من :

Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance

قمنا بإعادة تصنيف طبقة البعد عن الفوالق بفاصل مسافة تكراري قدره 500 م حسب تقدير DRASTIC كما في الجدول (4)، وحصلنا عليها بالشكل (38).

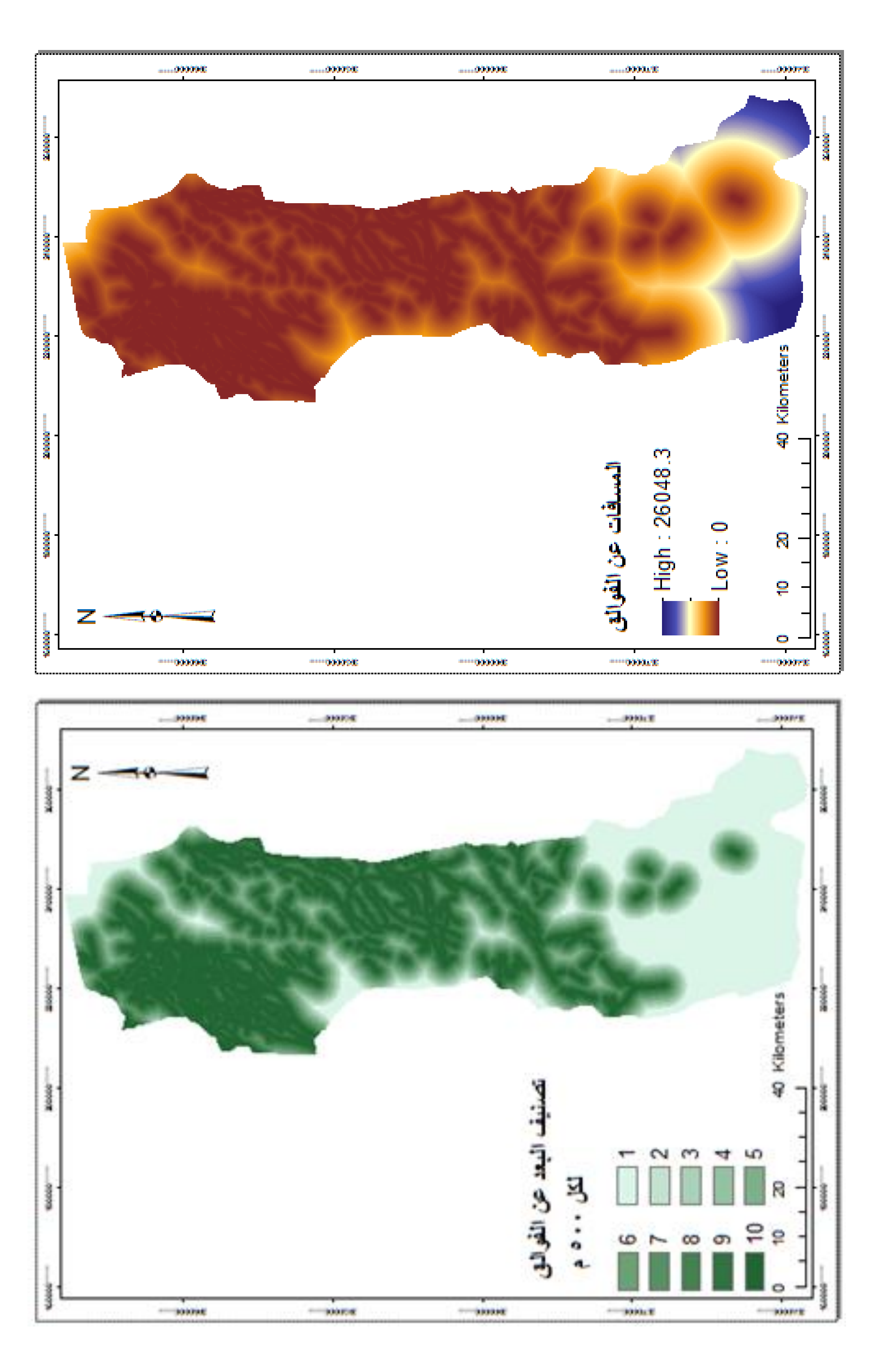


الشكل (36) طبقة الفوالق في منطقة الدراسة

نلاحظ أنه إذا لم يتم ضبط الامتداد في البرنامج ليطابق حدود منطقة الدراسة، فإن الحساب للمسافة سيتوقف عند حد معين افتراضي، ويبقى جزء من منطقة الدراسة خارج العملية الحسابية، لذا من الضروري ضبط الامتداد من :

Geoprocessing → Environment → Processing Extent →

→ Extent → Same as layer

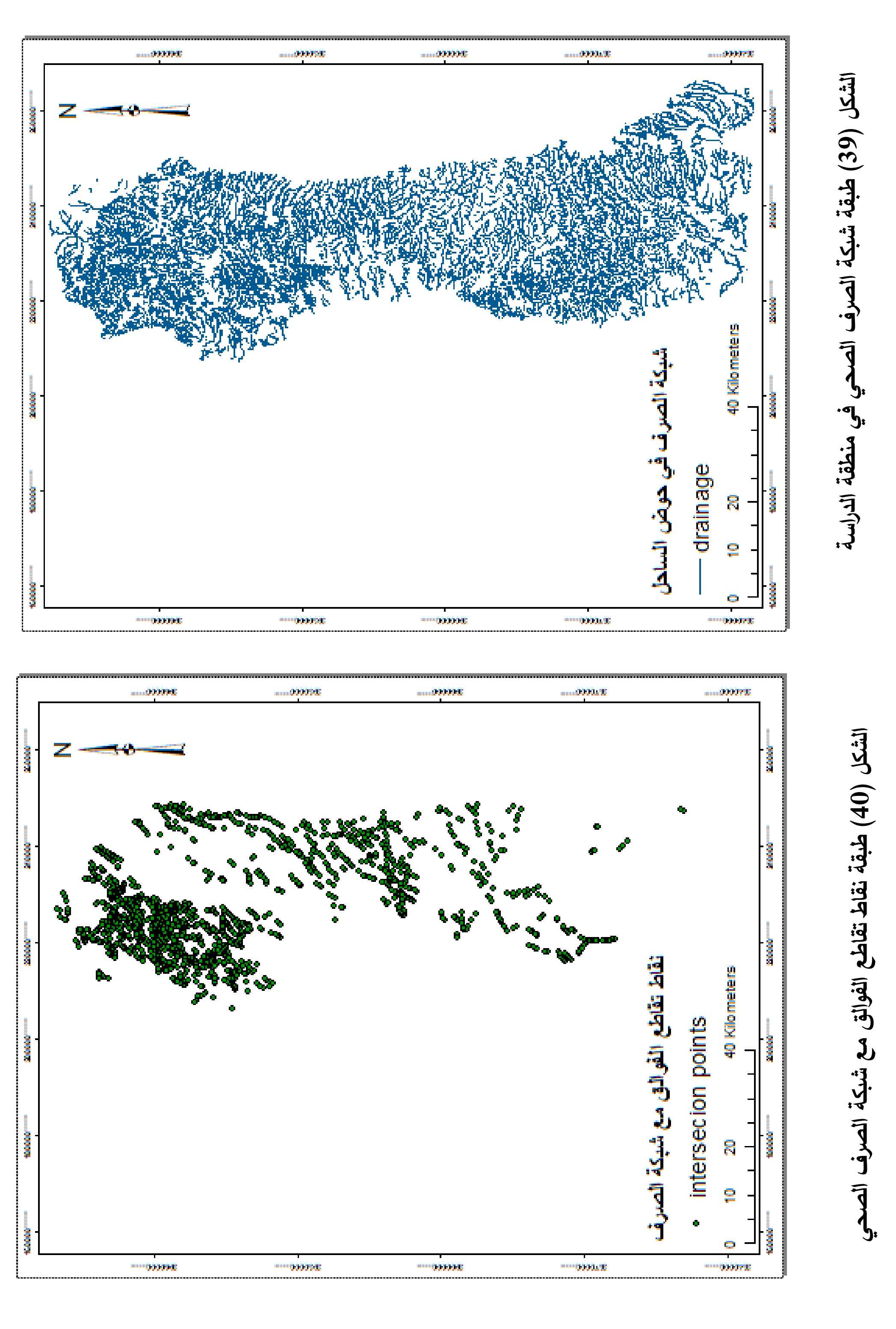


الشكل (37) طبقة المسافات عن الفوالق (متر)

الشكل (38) القيم التقديرية للمسافات عن الفوالق

وبالإضافة إلى البعد عن الفوالق قمنا بإيجاد نقاط تقاطع الفوالق مع شبكة الصرف الشكل (39) في منطقة الدراسة الشكل (40) من : Analysis Tools → Overlay → Intersect

ثم حسبنا المسافة عن نقاط التقاطع كما هو مبين في الشكل (41)، ونتيجة التصنيف حسب تقدير DRASTIC لطبقة المسافة بفاصل تكراري قدره 500 م حسب الجدول (4) حصلنا على الطبقة كما في الشكل (42).

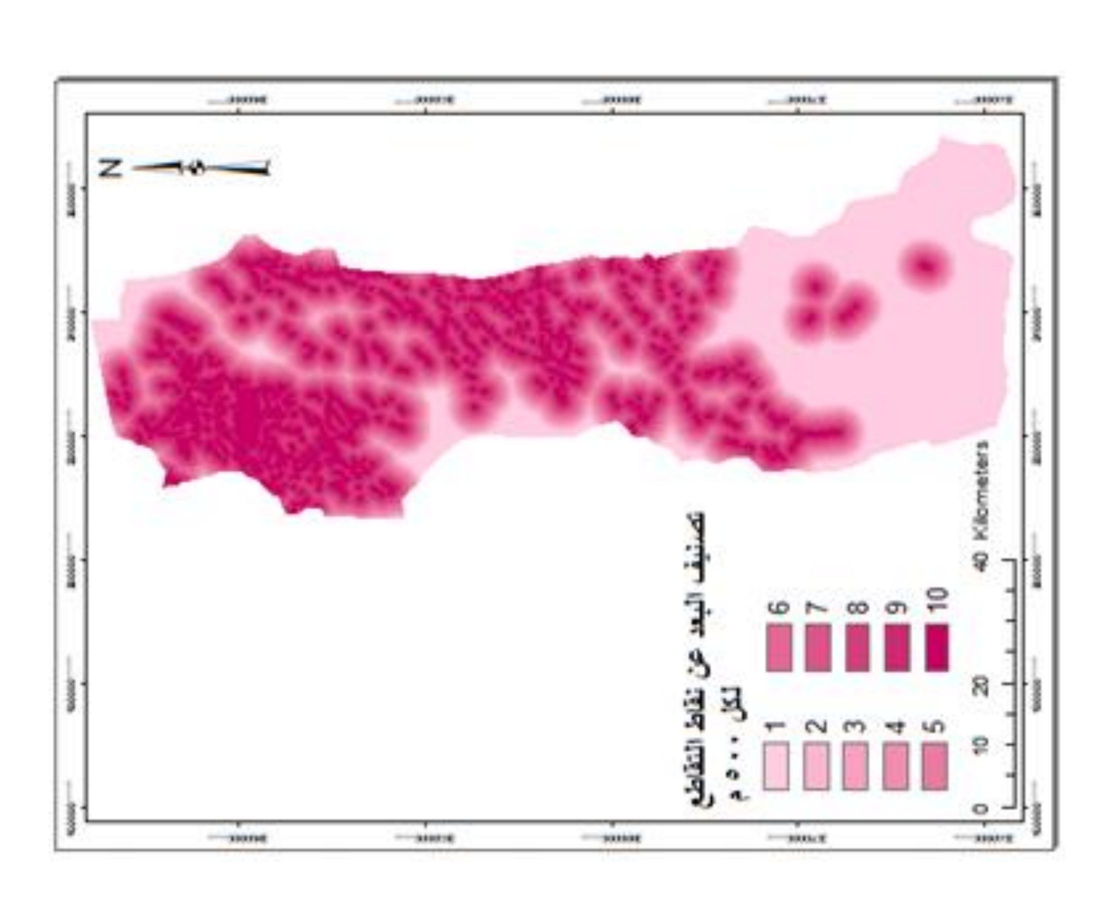


الشكل (39) طبقة شبكة الصرف الصحي في منطقة الدراسة

الشكل (40) طبقة نقاط تقاطع الفوالق مع شبكة الصرف الصحي



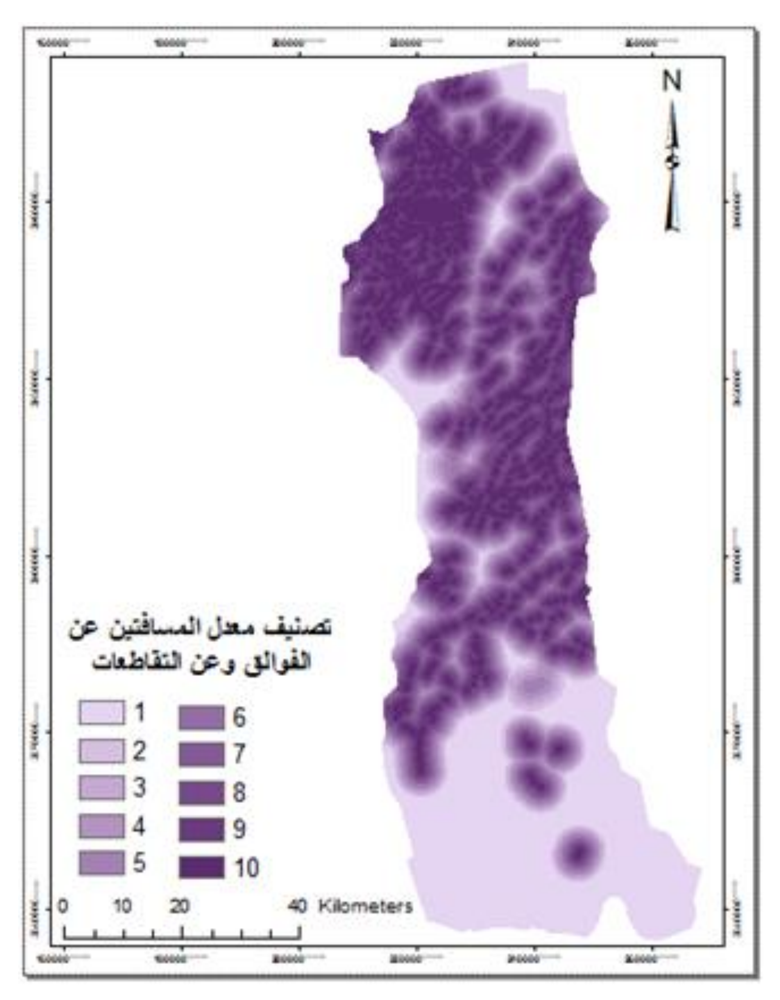
الشكل (41) طبقة المسافات عن نقاط تقاطع الفوالق مع شبكة الصرف (متر)



الشكل (42) القيم التقديرية للمسافات عن نقاط التقاطع تبعاً لـ DRASTIC

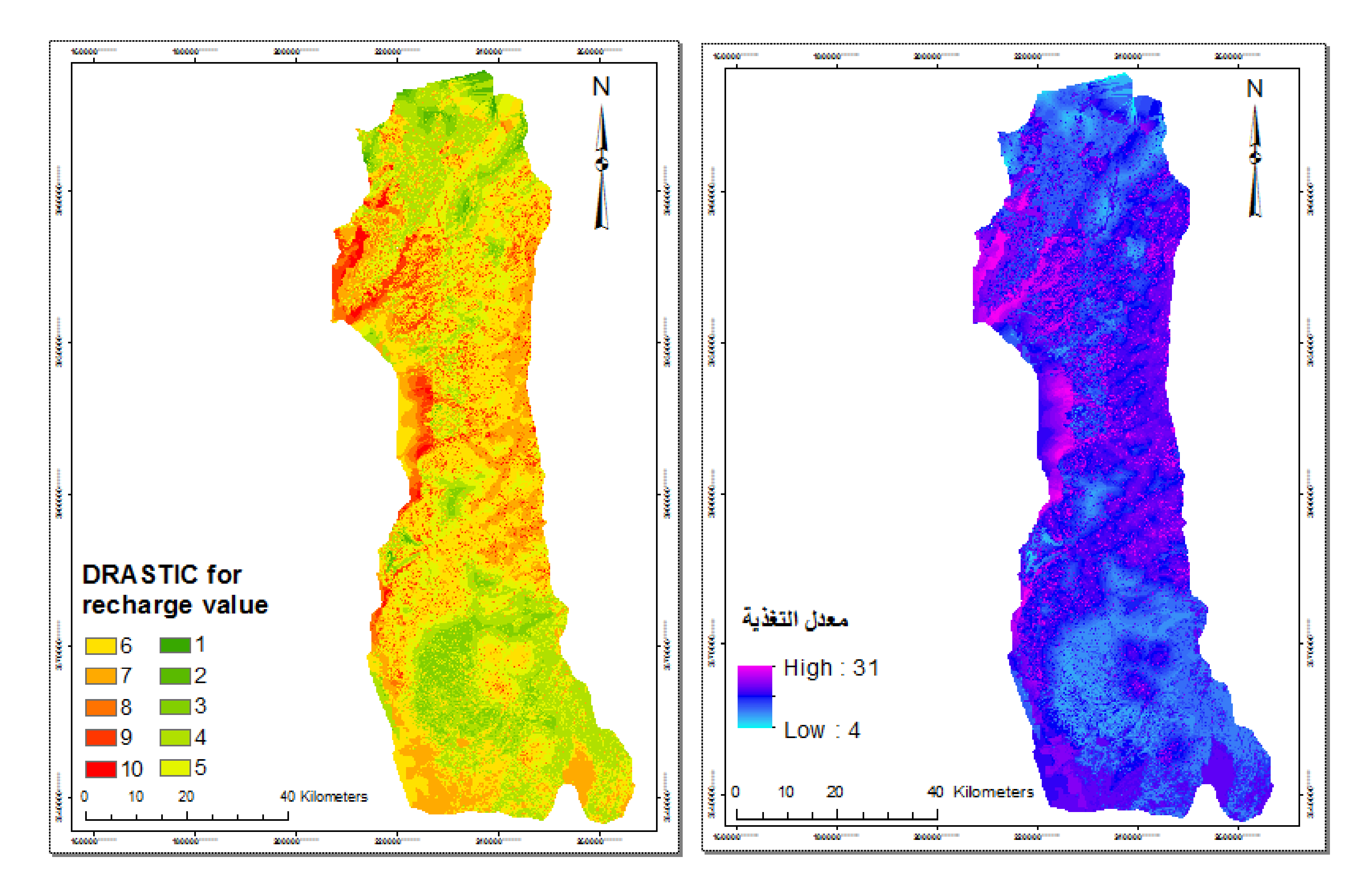
وفي الشكل (43) تم إيجاد معدل طبقتي المسافات عن الفوالق وعن نقاط تقاطعها مع شبكة الصرف باستخدام Raster Calculator من :

Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator



الشكل (43) القيم التقديرية لمعدل المسافتين عن الفوالق وعن نقاط التقاطع

أخيراً نحصل على الطبقة الخاصة بمعامل قيمة التغذية النهائية – الشكل (44) – بجمع طبقات الميول و الهطول المطري والنفوذية ومعدل المسافة بعد تصنيفها حسب المعادلة (1) باستخدام Raster Calculator، وفي الشكل (45) موضحة نتيجة تصنيف الطبقة النهائية حسب الجدول (4).



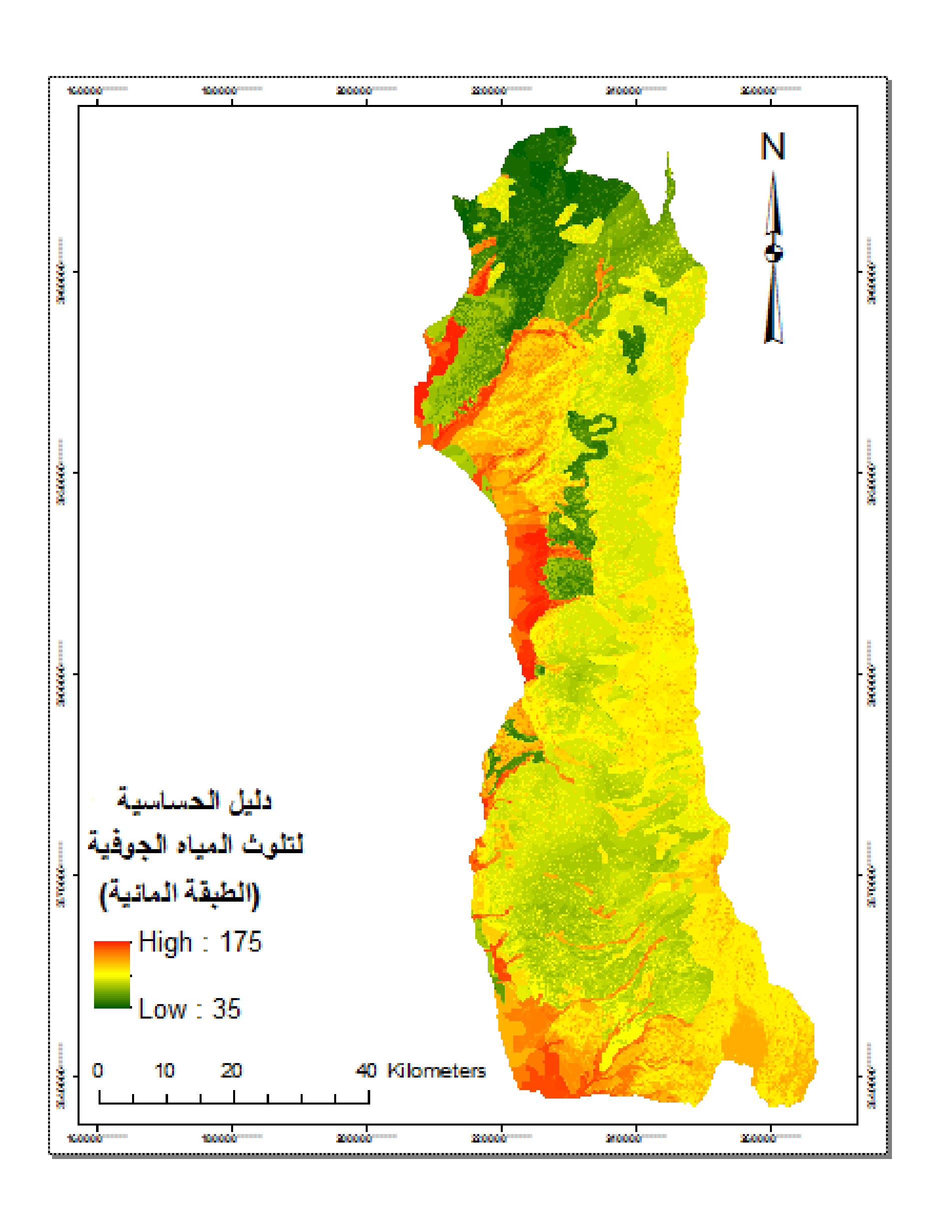
الشكل (44) طبقة قيمة التغذية النهائية

الشكل (45) القيم التقديرية لمعامل قيمة التغذية تبعاً لـ DRASTIC

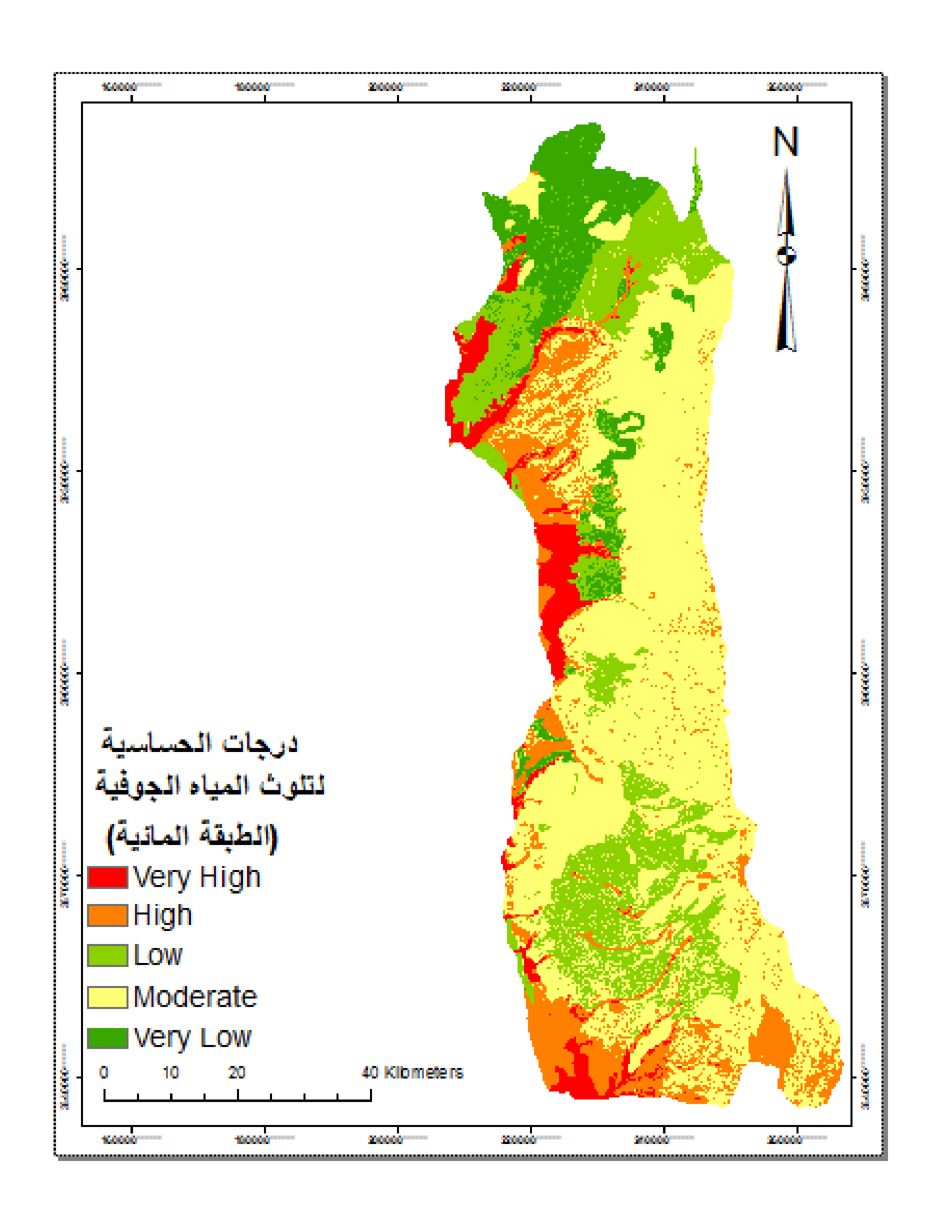
3.4.7. إنتاج خريطة الحساسية لتلوث المياه الجوفية

بتطبيق المعادلة رقم (2) باستخدام Raster Calculator حصلنا على خريطة دليل الحساسية لتلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة ، أي قمنا بضرب كل طبقة بالوزن الخاص بها حسب الجدول (12) ثم جمعنا الطبقات الموزونة.

أولاً: الشكل (46) يبين خريطة دليل الحساسية تبعاً لعمق الطبقة المائية، وبإعادة تصنيفها حسب الجدول (13) كانت النتيجة هي خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية والموضحة في الشكل (47) .



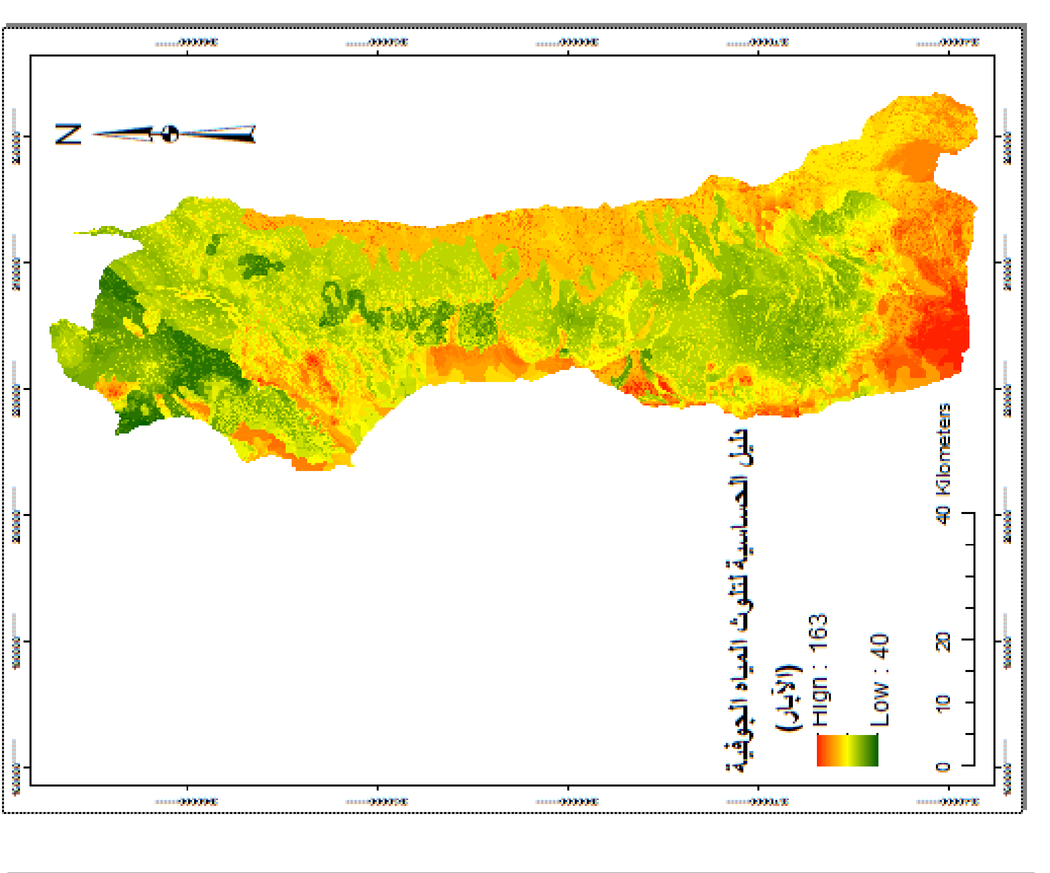
الشكل (46) خريطة دليل الحساسية لتلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة (أعماق الطبقة المائية)



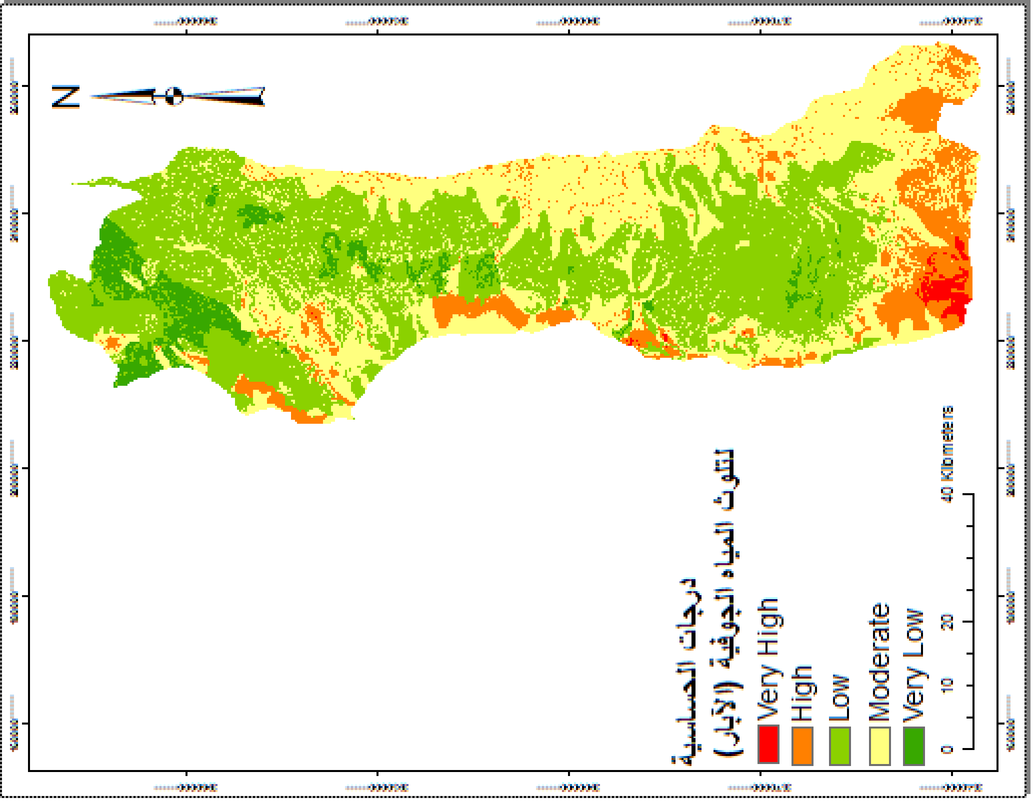
الشكل (47) خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة (أعماق الطبقة المائية)

ثانياً:

الشكل (48) يبين خريطة دليل الحساسية تبعاً لأعماق الآبار، وبإعادة تصنيفها حسب الجدول (13) كانت النتيجة هي خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية والموضحة في الشكل (49) .




الشكل (48) خريطة دليل الحساسية لتلوث المياه الجوفية (أعماق الآبار)



الشكل (49) خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية (أعماق الآبار)

الجدول(13) إعادة تصنيف درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية باستخدام طريقة Equal Interval

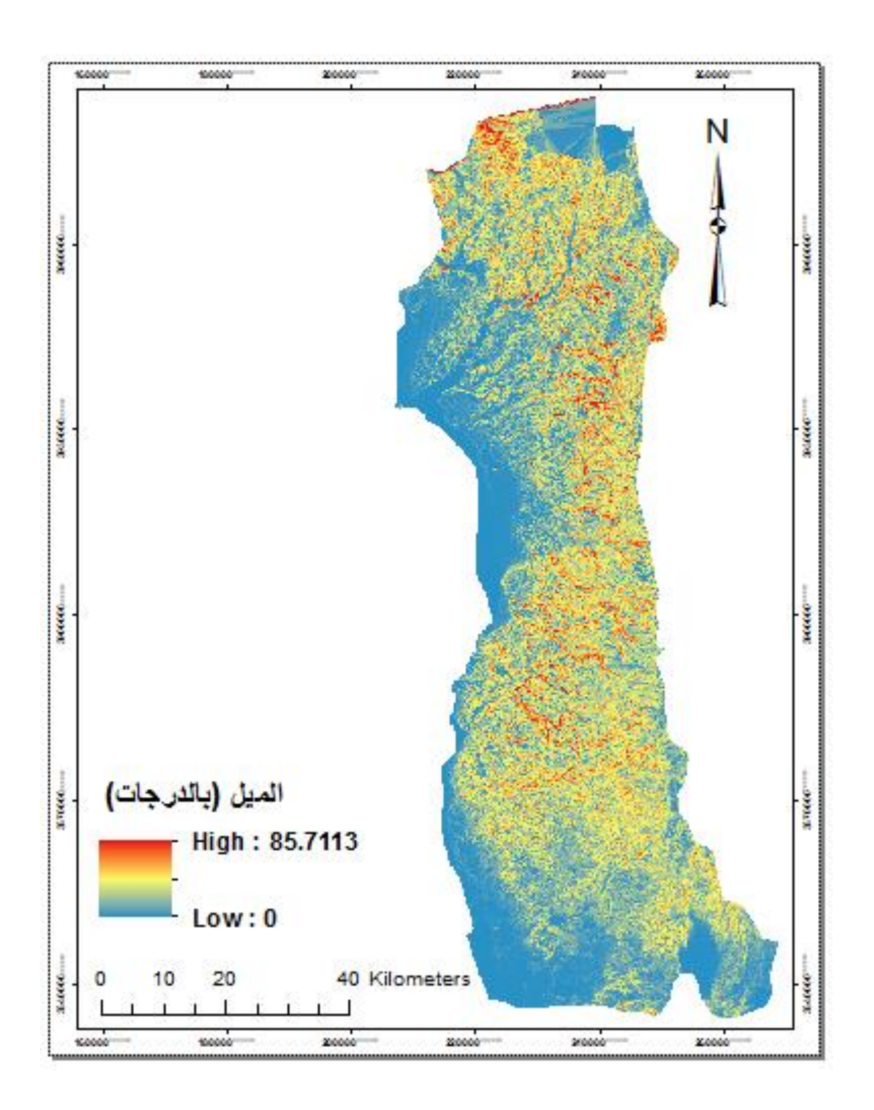
درجة الحساسية	Sensitivity Grade	قيمة مؤشر دراستك DRASTIC Index Value
منخفضة جداً	Very Low	35 - 63
منخفضة	Low	63 - 91
متوسطة	Moderate	91 - 119
عالية	High	119 - 147
عالية جداً	Very High	147 - 175

3.5. الخطوات العملية المتبعة للحصول على خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية ومناقشة النتائج

لإنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية قمنا دراسة أربعة عشر عاملاً تم تعريفهم في الفصل الثاني من (ص31) إلى (ص33)، وفي هذا القسم تم توضيح كل الخطوات العملية التي أجريت باستخدام برنامج ARCGIS 10.2 بشكل تفصيلي ومتسلسل بالإضافة إلى طريقة حساب نسبة التكرار لكل عامل.

3.5.1. الميل Slope

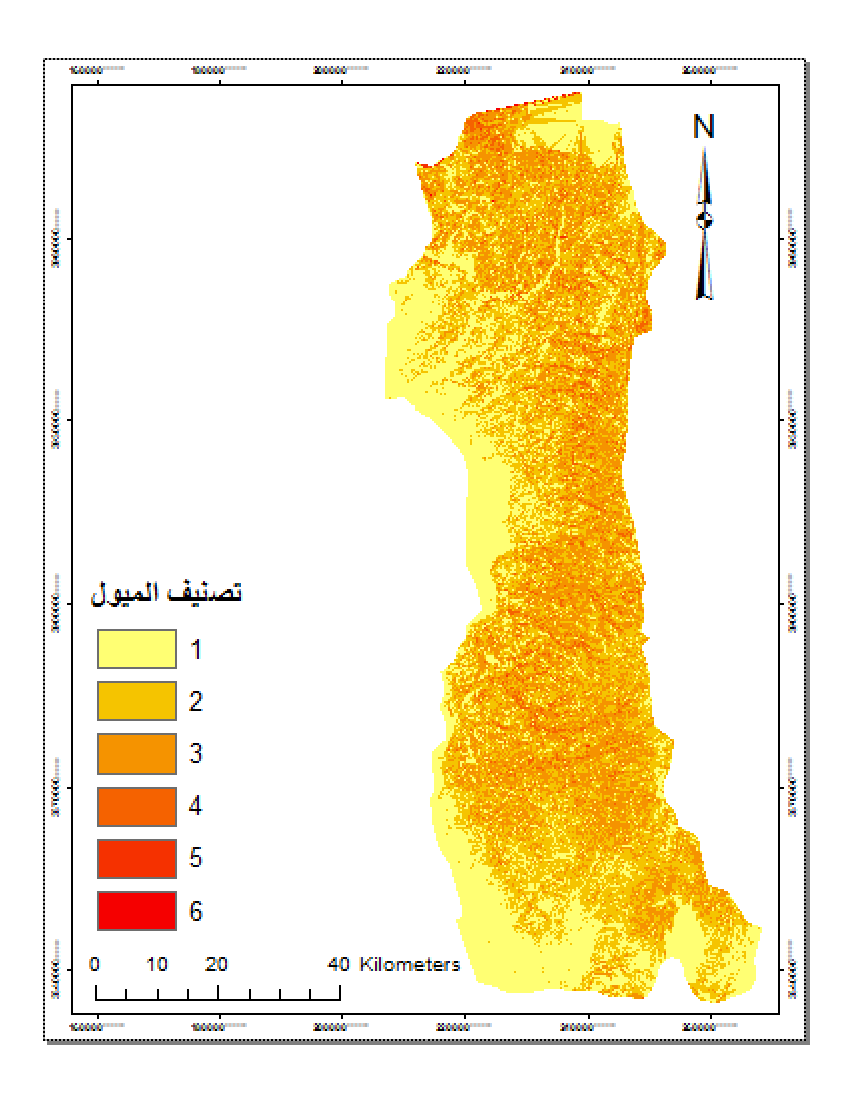
باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM تم حساب طبقة الميول في المنطقة بالدرجات الشكل (50)، ثم أعيد تصنيفها إلى 6 أصناف كما في الشكل (51) حسب الجدول (14)، وبحساب نسبة التكرار الجدول (15) كانت النتيجة كما في الشكل (52).



الشكل (50) طبقة الميول بالدرجات في منطقة الدراسة

الجدول (14) توضيح الأصناف في طبقة الميول

رقم الصنف	الميل بالدرجات
1	0 _ 5
2	5 _ 15
3	15 _ 30
4	30 _ 50
5	50 _ 70
6	> 70



الشكل (51) طبقة الميول بعد إعادة تصنيفها

الجدول (15) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة الميل

Table

rec_slp

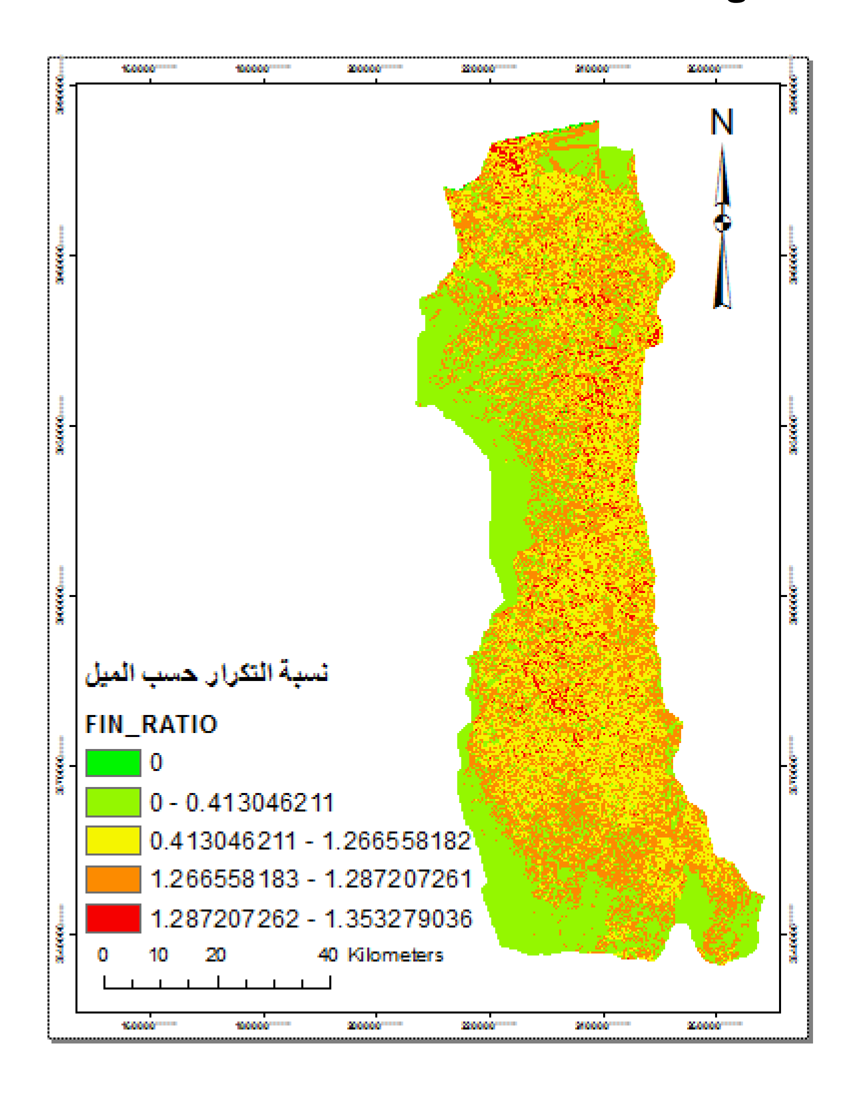
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	265578	0.322805	6	0.133333	0.413046
1	2	298270	0.362542	21	0.466667	1.287207
2	3	230958	0.280726	16	0.355556	1.266558
3	4	270198	0.032842	2	0.044444	1.353279
4	5	5320	0.000647	0	0	0
5	6	3609	0.000439	0	0	0

- تم حساب نسبة التكرار لكل عامل بنفس الطريقة وذلك بإضافة 4 حقول في الـ attribute table الخاصة به بعد إعادة تصنيفه:

1. Count حقل ضمن البرنامج يبين عدد البيكسلات ضمن الصنف الواحد.
2. PIX_RAT حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا فيه نسبة عدد البيكسلات للصنف إلى العدد الكلي للبيكسلات.
3. NUM_PO حقل تمت إضافته من النوع "short integer" حددنا فيه عدد نقاط الانهيارات الأرضية ضمن الصنف الواحد.

من : Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Values to Points

4. PO_RAT حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا فيه نسبة عدد نقاط الانهيارات الأرضية ضمن الصنف الواحد إلى العدد الكلي للانهيارات (عددها 45 نقطة).
5. FIN_RATIO حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا فيه نسبة التكرار وهي ناتج قسمة PO_RAT على PIX_RAT.



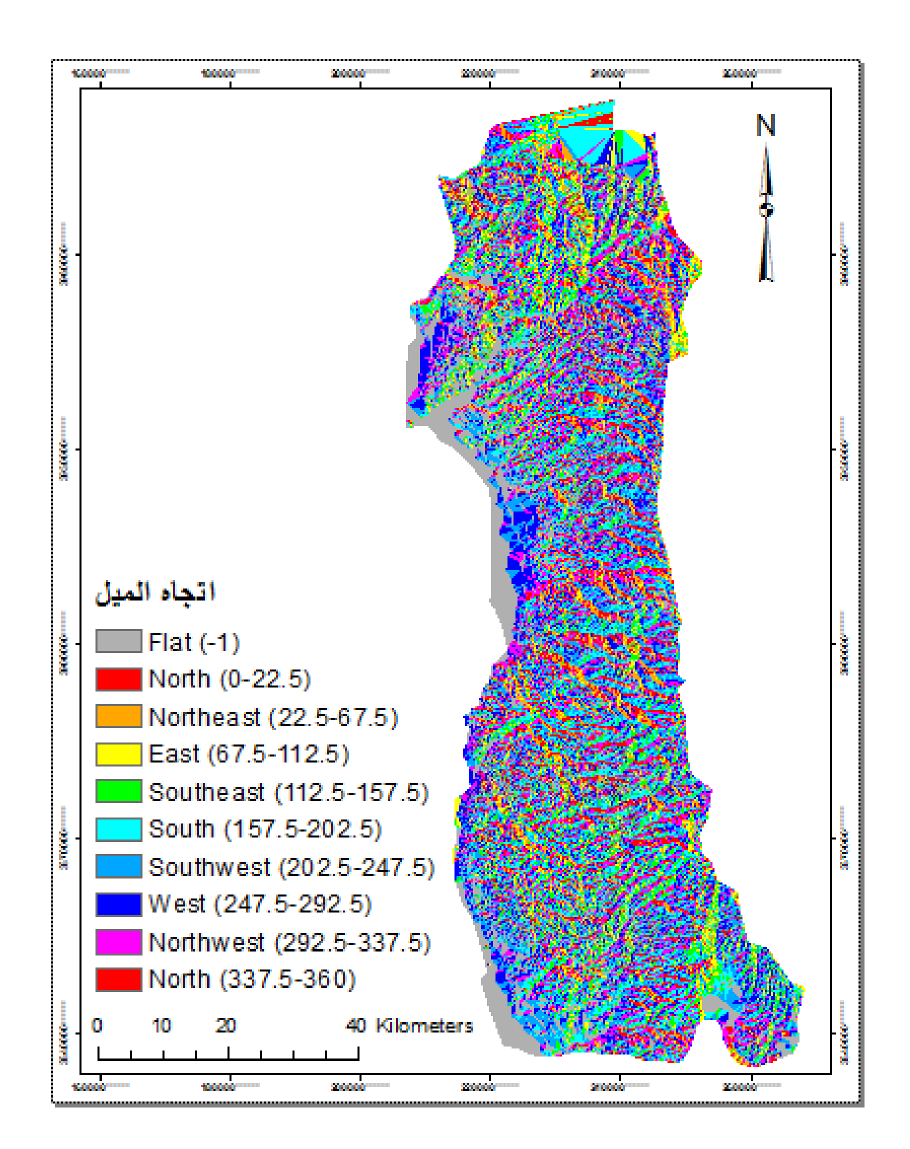
الشكل (52) نسبة التكرار لكل صنف من طبقة الميول

3.5.2. اتجاه الميل Aspect

باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM حسبت اتجاهات الميول في المنطقة (الشكل 53) من :

Spatial Analyst Tools → Surface →Aspect

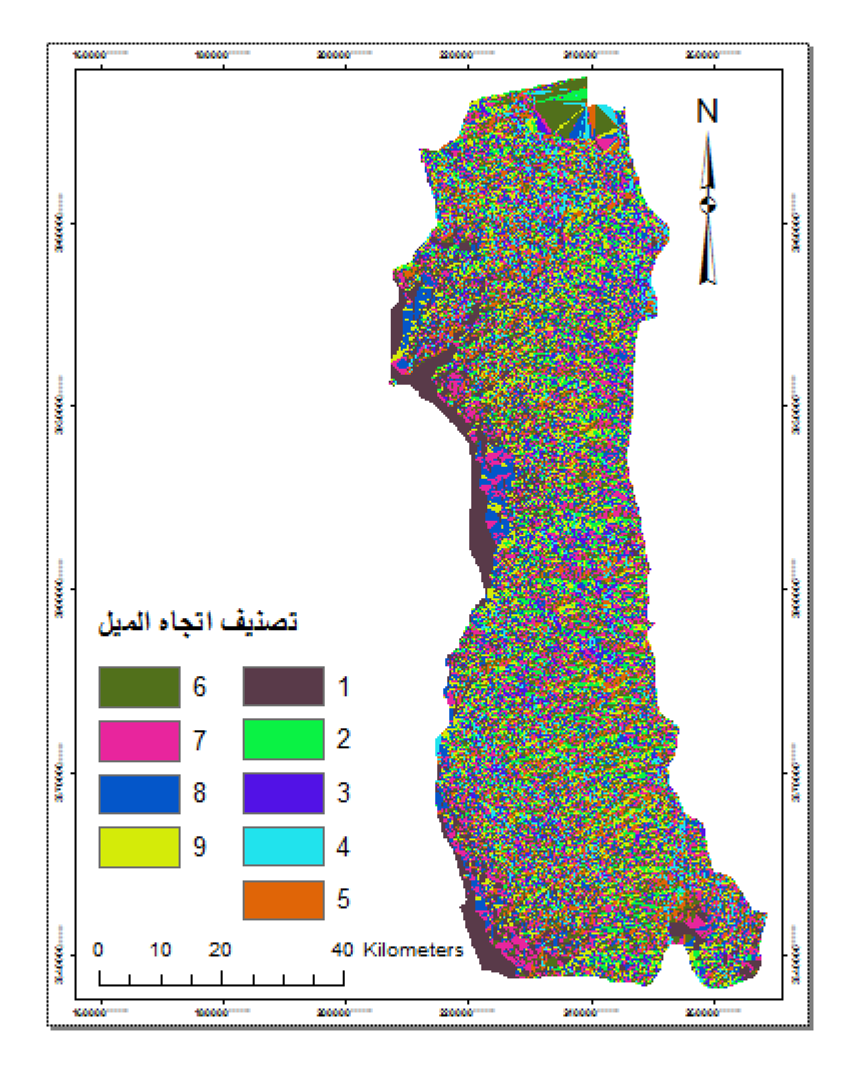
ثم أعيد تصنيف الطبقة إلى 9 أصناف حسب الجدول (16) كما في الشكل (54)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (17) تظهر النتيجة على الشكل (55).



الشكل (53) طبقة اتجاه الميل في منطقة الدراسة

الجدول (16) توضيح الأصناف في طبقة اتجاه الميل

رقم الصنف	اتجاه الميل
1	منبسط
2	شمالي
3	شمالي شرقي
4	شرقي
5	جنوبي شرقي
6	جنوبي
7	جنوبي غربي
8	غربي
9	شمالي غربي



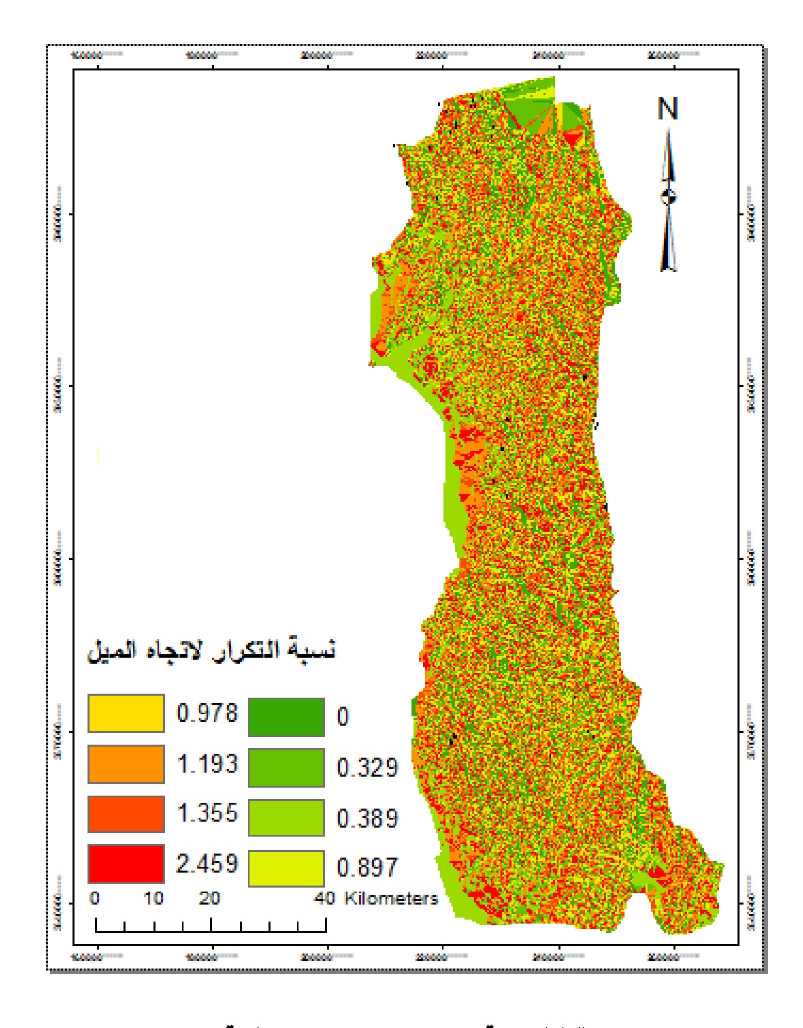
الشكل (54) طبقة اتجاه الميل بعد إعادة تصنيفها

الجدول (17) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة اتجاه الميل

Table

rec_asp

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	939538	0.114199	2	0.044444	0.389184
1	2	814519	0.099003	4	0.088889	0.897839
2	3	563974	0.06855	0	0	0
3	4	485870	0.059057	0	0	0
4	5	747138	0.090813	4	0.088889	0.978811
5	6	110884	0.134778	2	0.044444	0.32976
6	7	126356	0.153584	17	0.377778	2.459747
7	8	122498	0.148894	8	0.177778	1.193987
8	9	107876	0.131122	8	0.177778	1.355823



الشكل (55) نسبة التكرار لكل صنف من طبقة اتجاه الميل

3.5.3. الارتفاع Altitude

باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM الشكل (19) أعيد تصنيف الطبقة إلى 10 أصناف بفاصل تكراري ثابت قدره 150 م حسب الجدول (18) كما في الشكل (56)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (19) تظهر النتيجة كما في الشكل (57).

الجدول (18) توضيح الأصناف في طبقة الارتفاعات

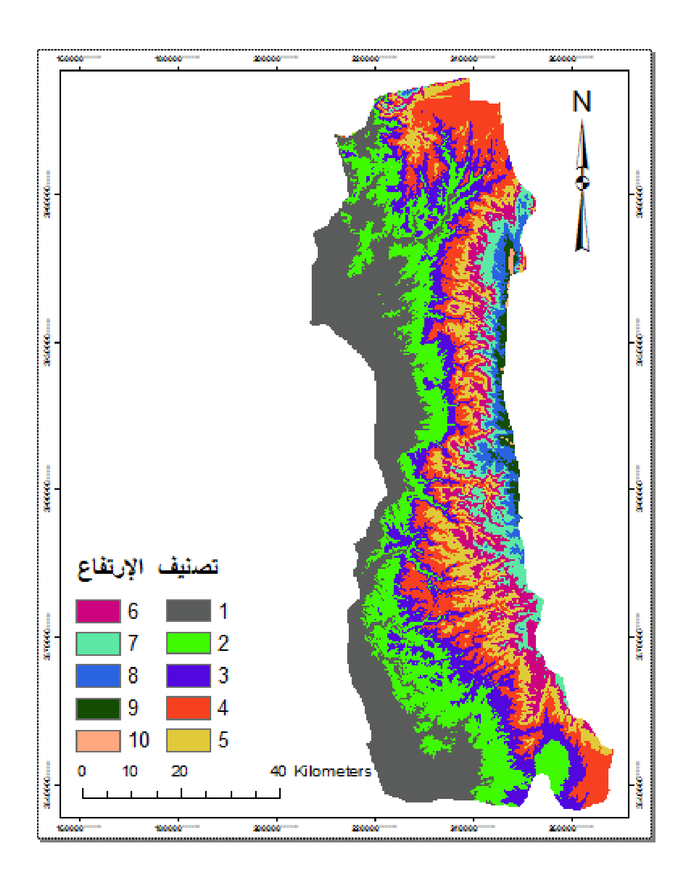
رقم الصنف	الارتفاع (م)	رقم الصنف	الارتفاع (م)
6	750 _ 900	1	0 _ 150
7	900 _ 1050	2	150 _ 300
8	1050 _ 1200	3	300 _ 450
9	1200 _ 1350	4	450 _ 600
10	1350 _ 1500	5	600 _ 750

الجدول (19) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة الارتفاعات

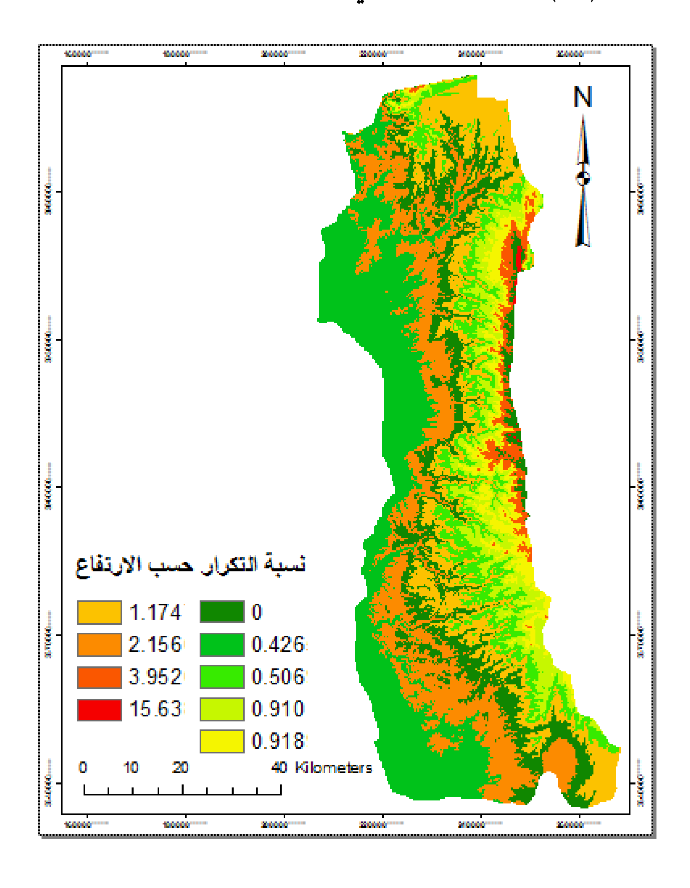
Table

rec_dem_la

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	214322	0.260505	5	0.111111	0.426521
1	2	1611177	0.195835	19	0.422222	2.156005
2	3	115826	0.140785	0	0	0
3	4	124508	0.151337	8	0.177778	1.174713
4	5	721210	0.087662	2	0.044444	0.507
5	6	602596	0.073244	3	0.066667	0.910195
6	7	397910	0.048365	2	0.044444	0.918935
7	8	231305	0.028115	5	0.111111	3.952069
8	9	104731	0.01273	0	0	0
9	10	11691	0.001421	1	0.022222	15.638238



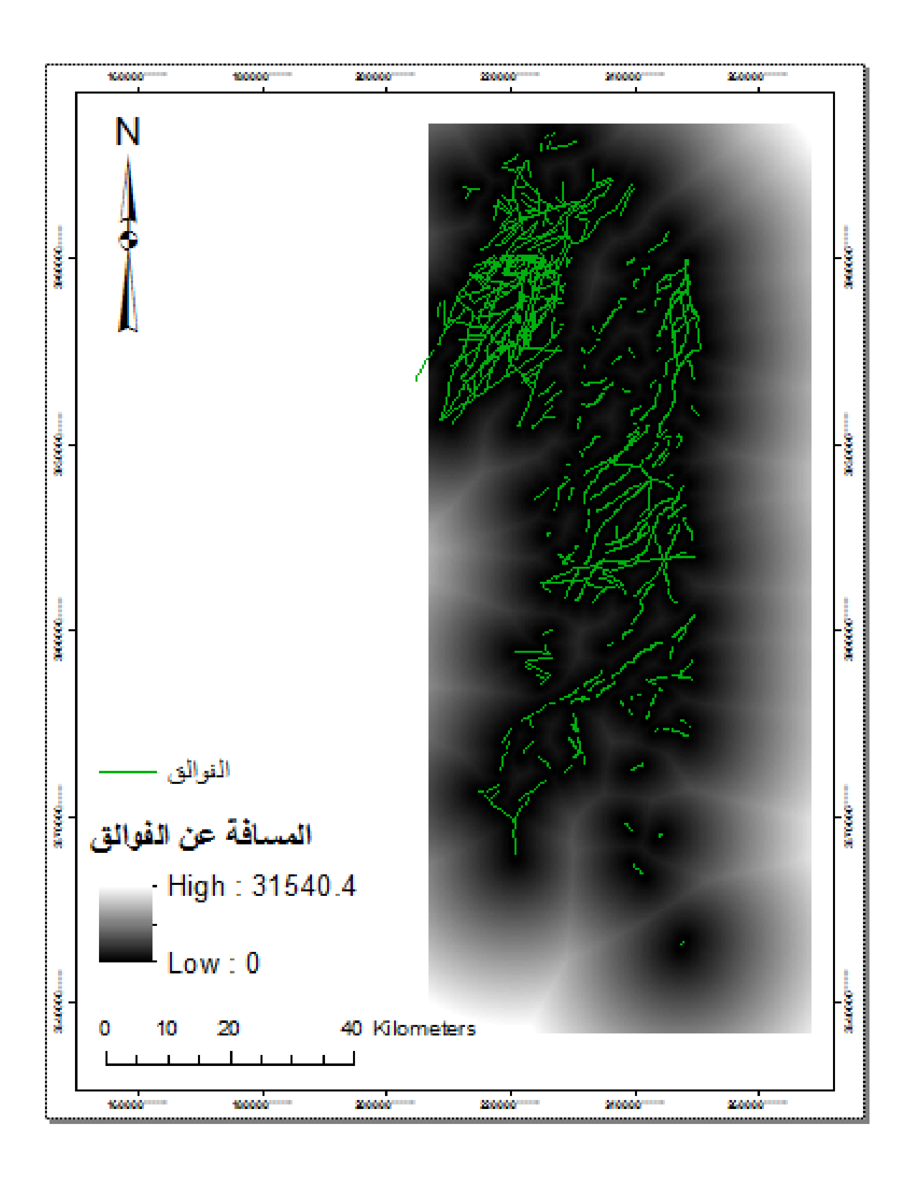
الشكل (56) طبقة الارتفاعات في منطقة الدراسة بعد إعادة تصنيفها



الشكل (57) نسبة التكرار لكل صنف من طبقة الارتفاعات

3.5.4. المسافة عن الفوالق Distance from faults

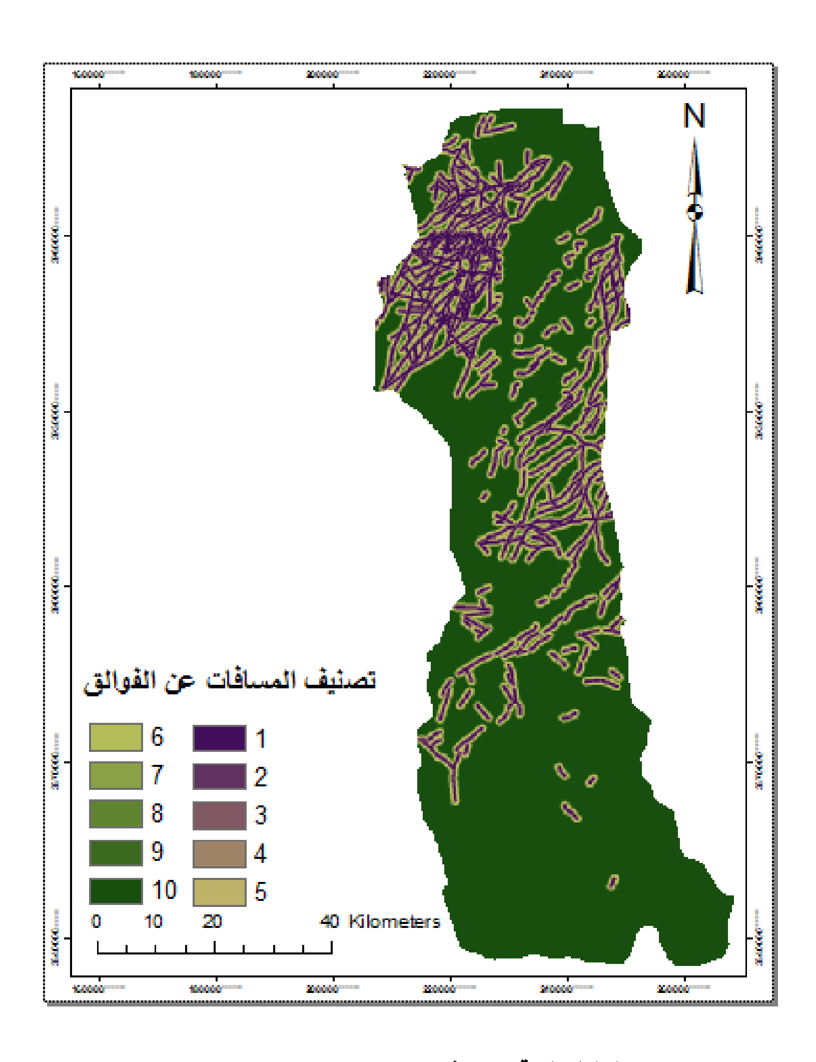
بحساب المسافة عن الفوالق على امتداد المنطقة الشكل (58)، ثم إعادة تصنيفها إلى 10 أصناف بفاصل متكرر ثابت قدره 100 م حسب الجدول (20) كما في الشكل (59)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (21) تبدو النتيجة كما في الشكل (60).



الشكل (58) طبقة المسافات عن الفوالق (متر) في منطقة الدراسة

الجدول (20) توضيح الأصناف في طبقة المسافات عن الفوالق

رقم الصنف	المسافات عن الفوالق (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 31540.4



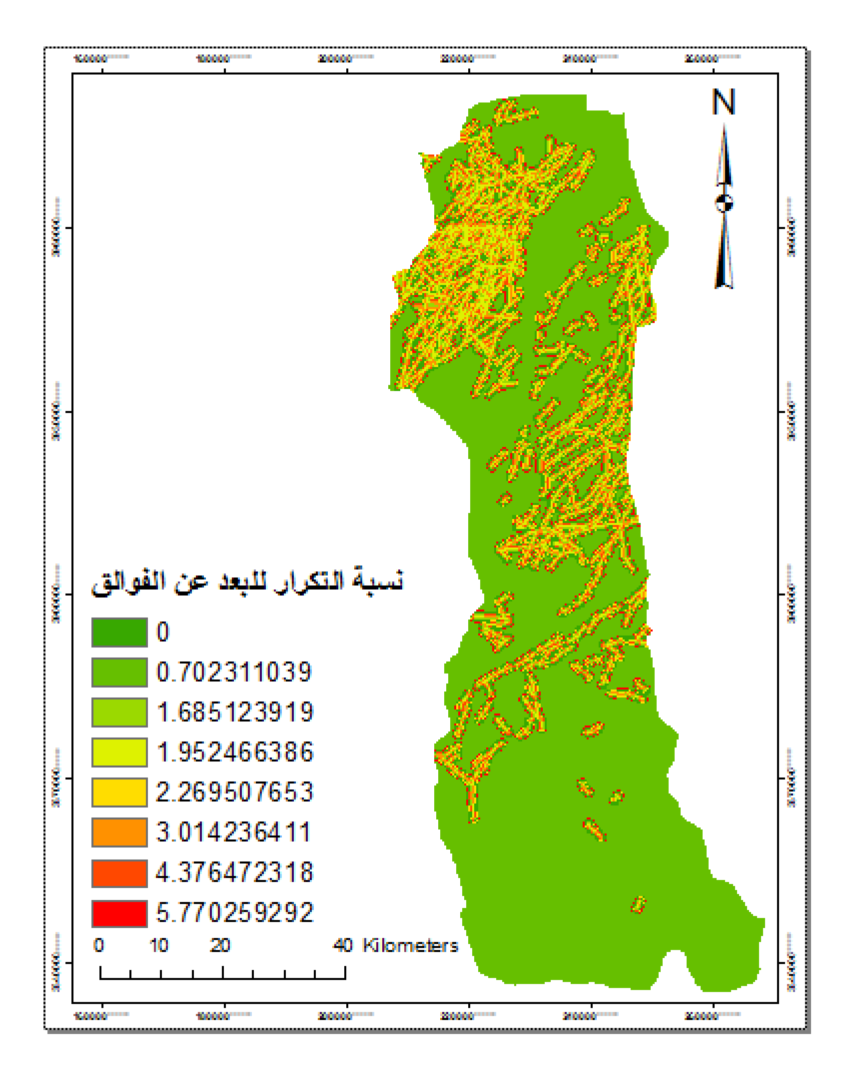
الشكل (59) طبقة المسافات عن الفوالق بعد إعادة تصنيفها

الجدول (21) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الفوالق

Table

ext_rec_fal

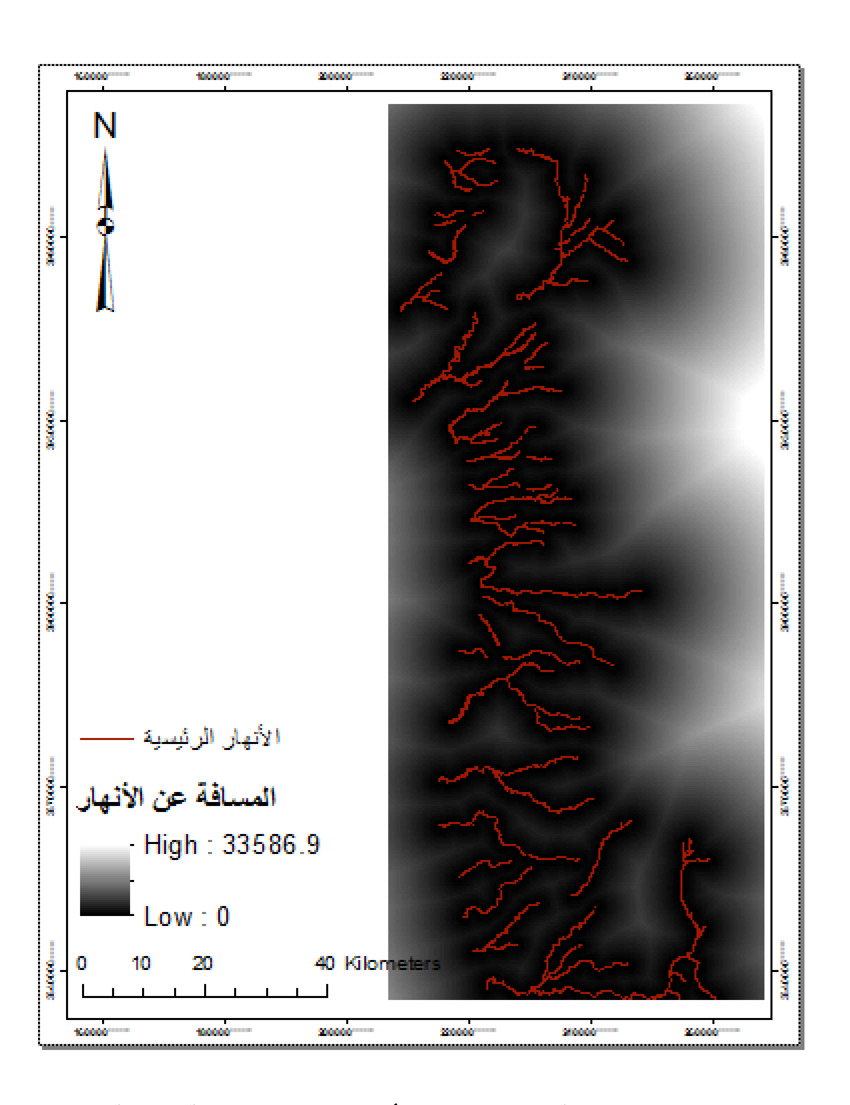
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	479630	0.034145	3	0.066667	1.952466
1	2	412363	0.02949	4	0.088889	3.014236
2	3	366508	0.026375	2	0.044444	1.685124
3	4	350921	0.025388	5	0.111111	4.376472
4	5	314459	0.02294	0	0	0
5	6	265869	0.019583	2	0.044444	2.269508
6	7	250955	0.018667	0	0	0
7	8	225685	0.016968	0	0	0
8	9	202641	0.015405	4	0.088889	5.770259
9	10	533767	0.791039	25	0.555556	0.702311



الشكل (60) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الفوالق

3.5.5. المسافة عن الأنهار Distance from rivers

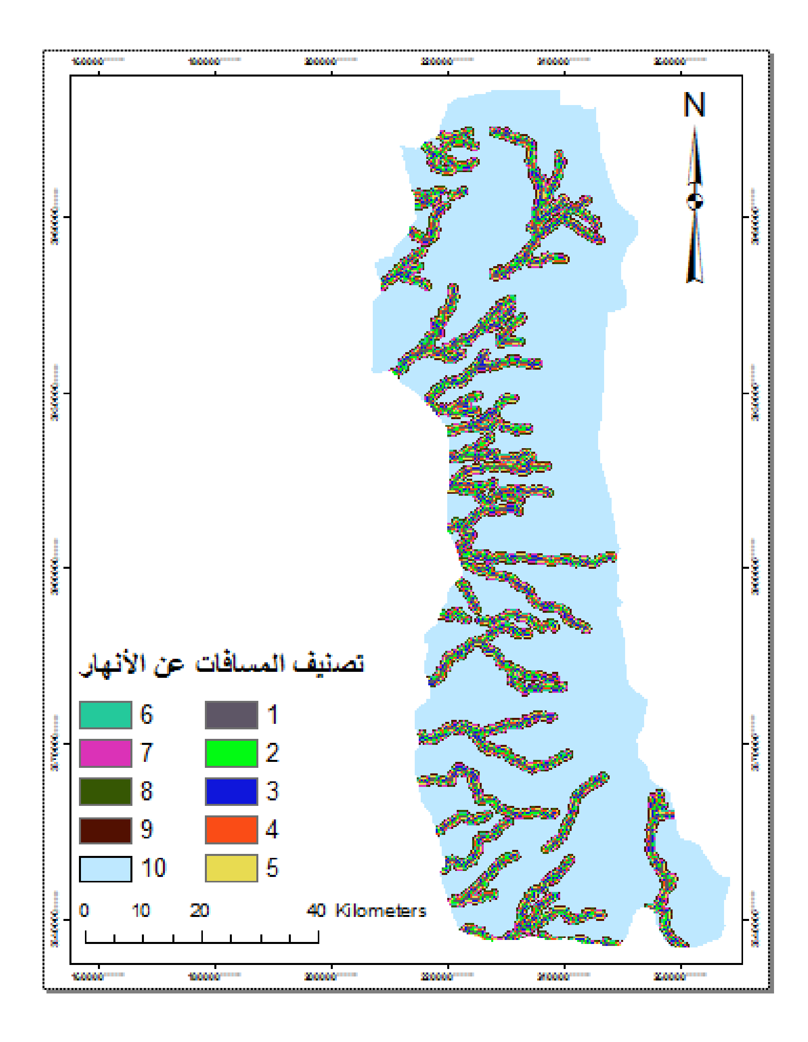
بحساب المسافة عن الأنهار على امتداد المنطقة الشكل (61)، ثم إعادة تصنيفها إلى 10 أصناف بفاصل ثابت متكرر قدره 100 م حسب الجدول (22) كما في الشكل (62)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (23) تظهر النتيجة على الشكل (63).



الشكل (61) طبقة المسافات عن الأنهار (متر) في منطقة الدراسة

الجدول (22) توضيح الأصناف في طبقة المسافات عن الأنهار

رقم الصنف	المسافات عن الأنهار (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 33586.9



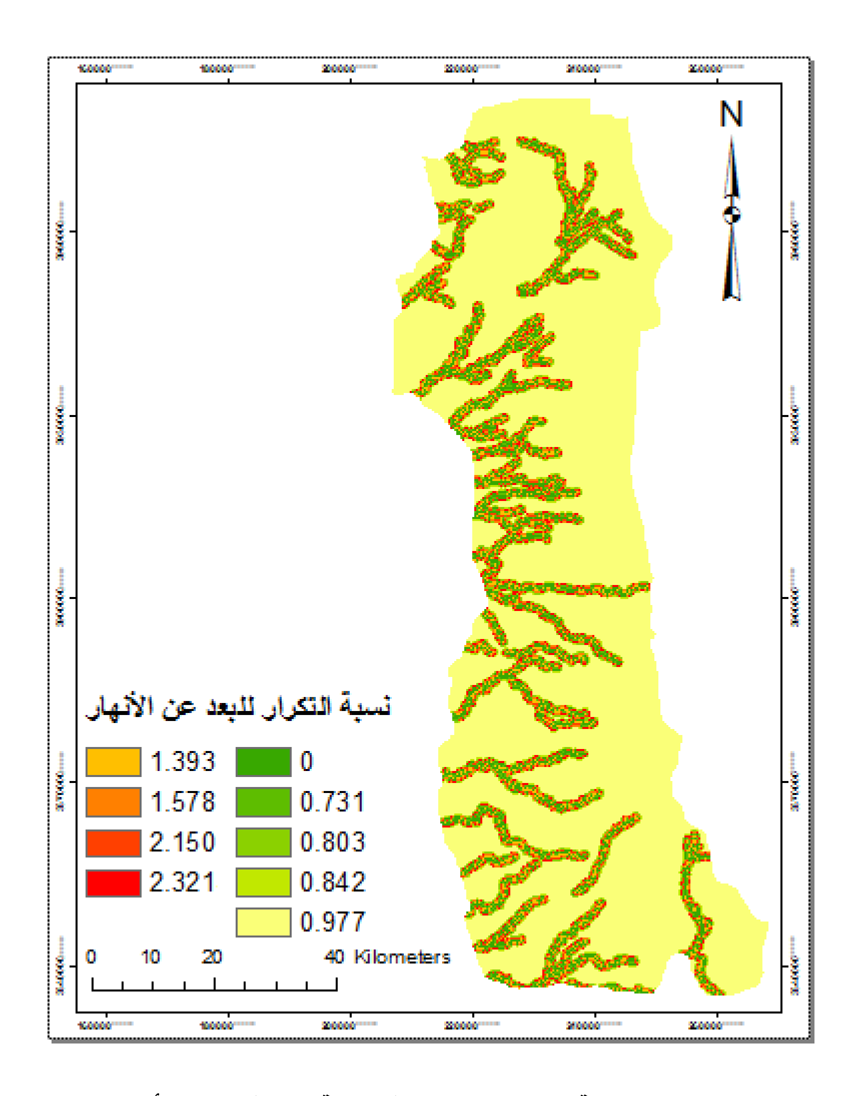
الشكل (62) طبقة المسافات عن الأنهار بعد إعادة تصنيفها

الجدول (23) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الأنهار

Table

ext_rec_riv

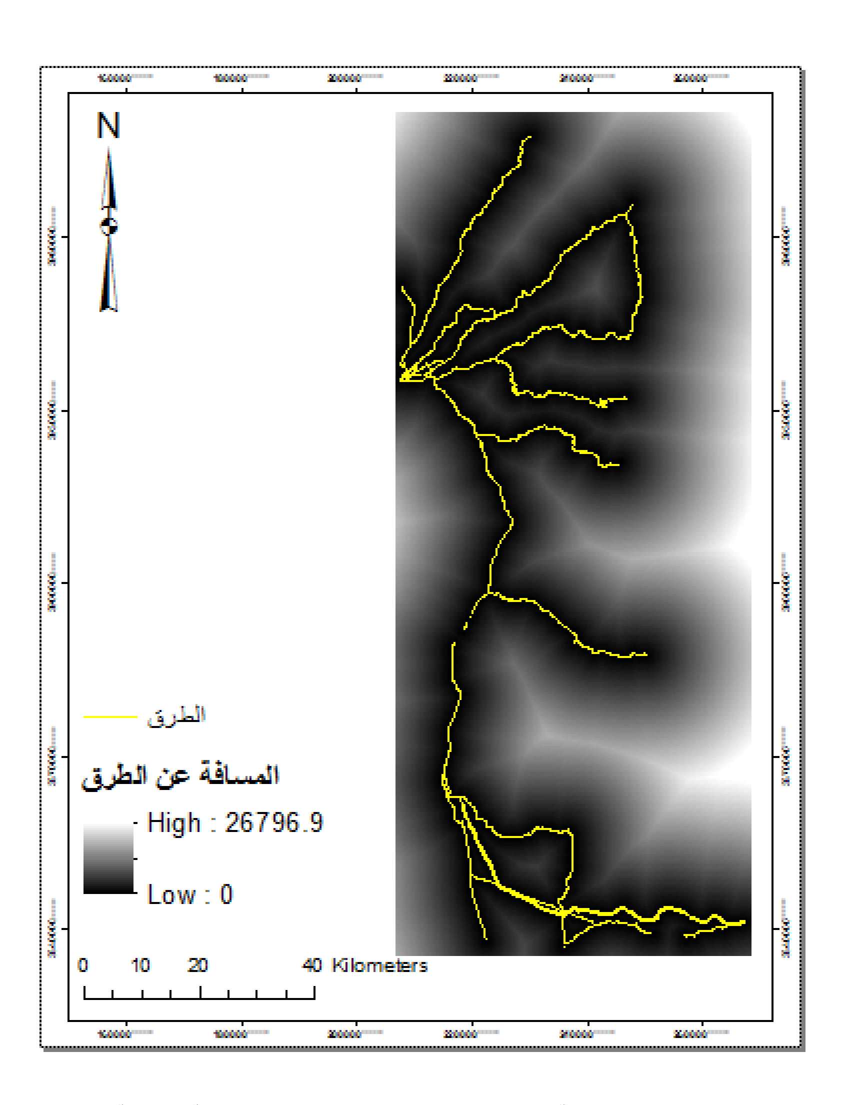
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	314637	0.038339	0	0	0
1	2	261721	0.031891	2	0.044444	1.393631
2	3	249157	0.03036	1	0.022222	0.731953
3	4	254447	0.031005	3	0.066667	2.150208
4	5	248154	0.030238	0	0	0
5	6	231023	0.028151	2	0.044444	1.578815
6	7	235679	0.028718	3	0.066667	2.321437
7	8	227090	0.027671	1	0.022222	0.803079
8	9	216561	0.026388	1	0.022222	0.842124
9	10	596823	0.727239	32	0.711111	0.977823



الشكل (63) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الأنهار

3.5.6. المسافة عن الطرق Distance from roads

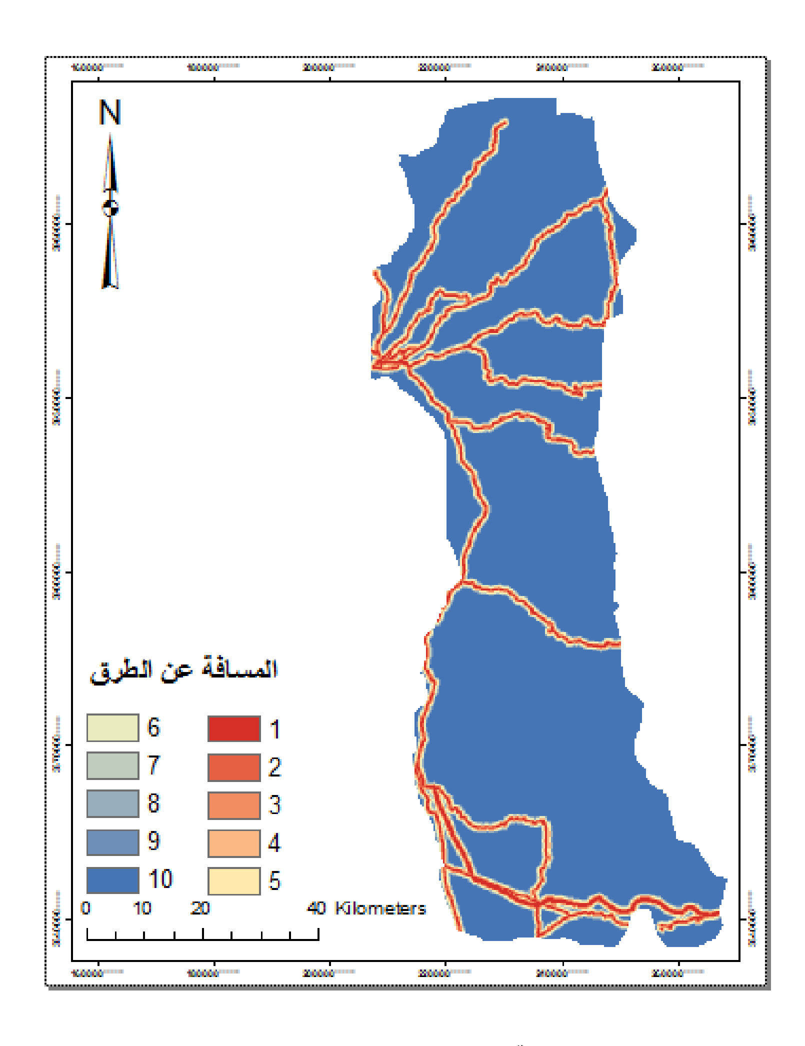
بحساب المسافة عن الطرق على امتداد المنطقة الشكل (64) ثم تصنيفها إلى 10 أصناف بفاصل ثابت متكرر قدره 100 م حسب الجدول (24) كما في الشكل (65)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (25) تظهر النتيجة كما في الشكل (66).



الشكل (64) طبقة المسافات عن الطرق (متر) في منطقة الدراسة

الجدول (24) توضيح الأصناف في طبقة المسافات عن الطرق

رقم الصنف	المسافات عن الطرق (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 26796.9



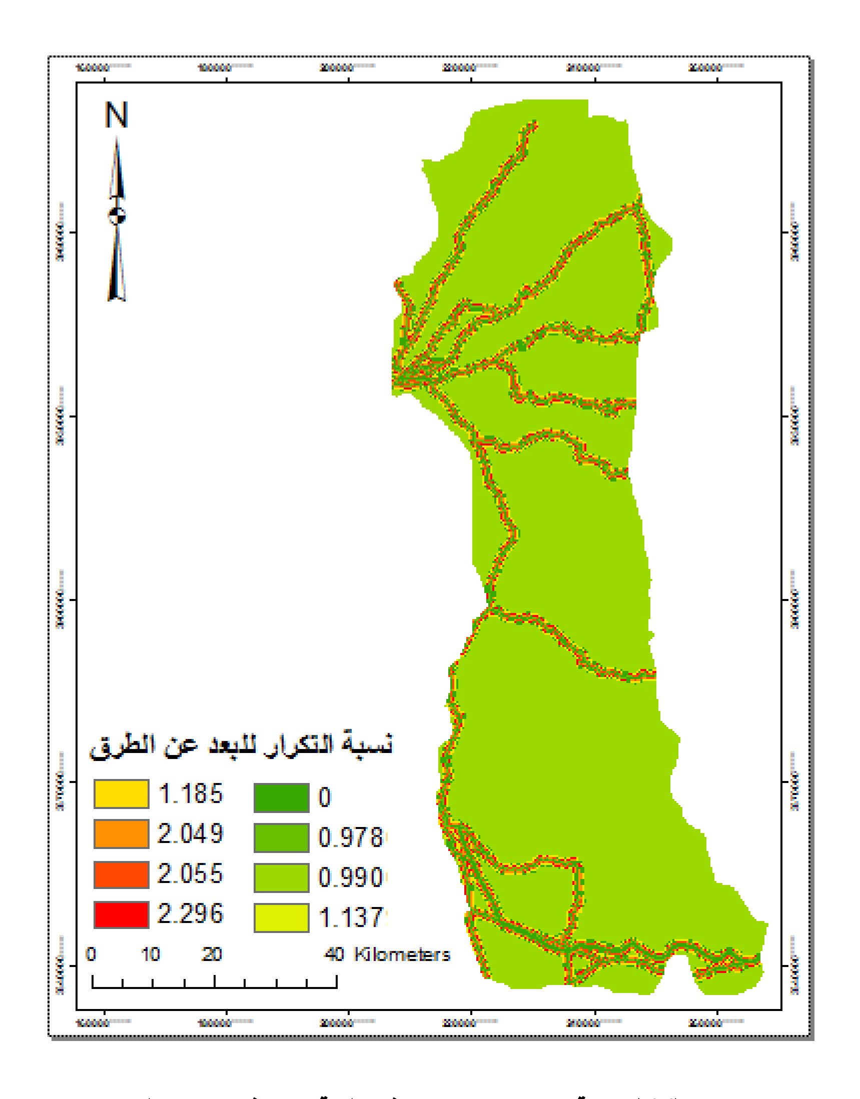
الشكل (65) طبقة المسافات عن الطرق بعد إعادة تصنيفها

الجدول (25) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الطرق

Table

ext_rec_rd

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	243642	0.029688	0	0	0
1	2	186461	0.022721	1	0.022222	0.978067
2	3	177482	0.021626	2	0.044444	2.055096
3	4	177943	0.021683	2	0.044444	2.049772
4	5	172557	0.021026	0	0	0
5	6	158844	0.019355	2	0.044444	2.296231
6	7	160263	0.019528	1	0.022222	1.13795
7	8	153809	0.018742	1	0.022222	1.1857
8	9	144456	0.017602	0	0	0
9	10	663125	0.808028	36	0.8	0.990065



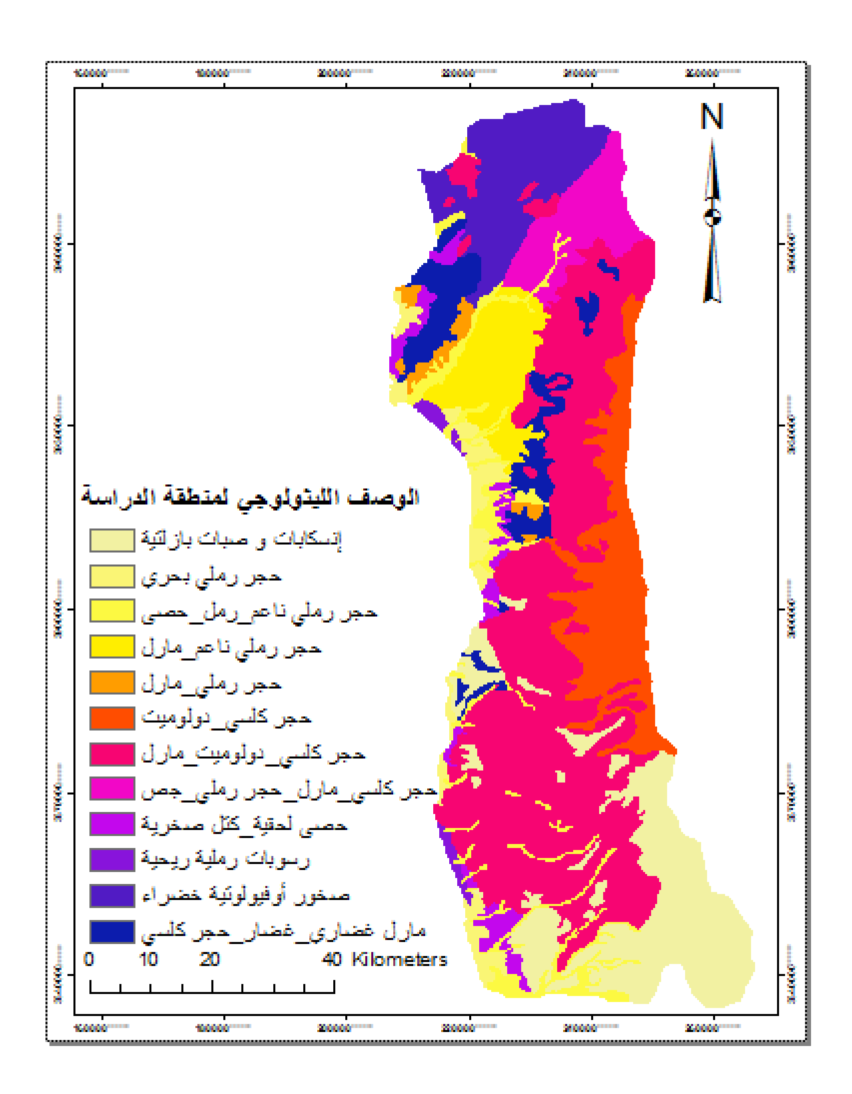
الشكل (66) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة المسافات عن الطرق

5.3.7. الليثولوجيا Lithology

بإعادة تصنيف طبقة الليثولوجيا في منطقة الدراسة كما في الشكل (67) حصلنا على 12 صنفاً حسب الجدول (26)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (27) كانت النتيجة كما في الشكل (68).

الجدول (26) توضيح الأصناف في طبقة الليثولوجيا

رقم الصنف	الوصف الليثولوجي لمنطقة الدراسة
1	صخور أوفيوليتية خضراء
2	حجر كلسي_مارل_حجر رملي_جص
3	حجر رملي ناعم _ رمل _ حصى
4	حجر كلسي_دولوميت_مارل
5	مارل غضاري_ غضار_ حجر كلسي
6	حصى لحقية_كتل صخرية
7	حجر رملي ناعم_مارل
8	حجر رملي_مارل
9	حجر كلسي_دولوميت
10	حجر رملي بحري
11	رسوبات رملية ريحية
12	انسكابات وصبات بازلتية



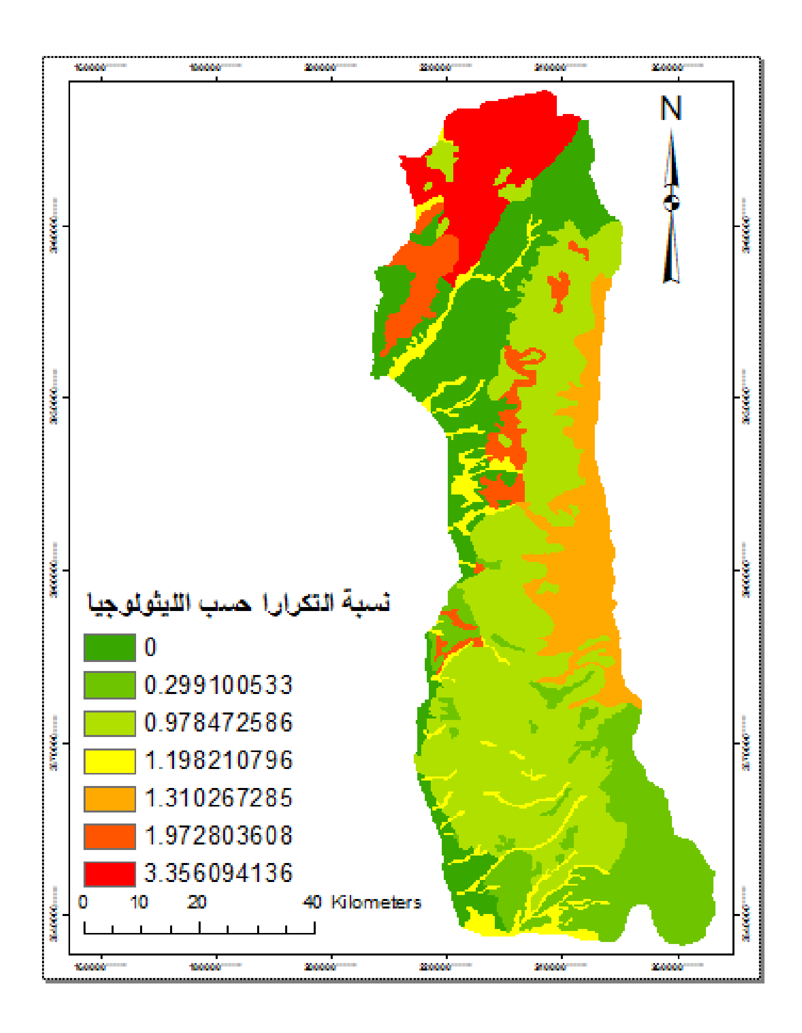
الشكل (67) طبقة الليثولوجيا في منطقة الدراسة

الجدول (27) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة الليثولوجيا

Table

lithology

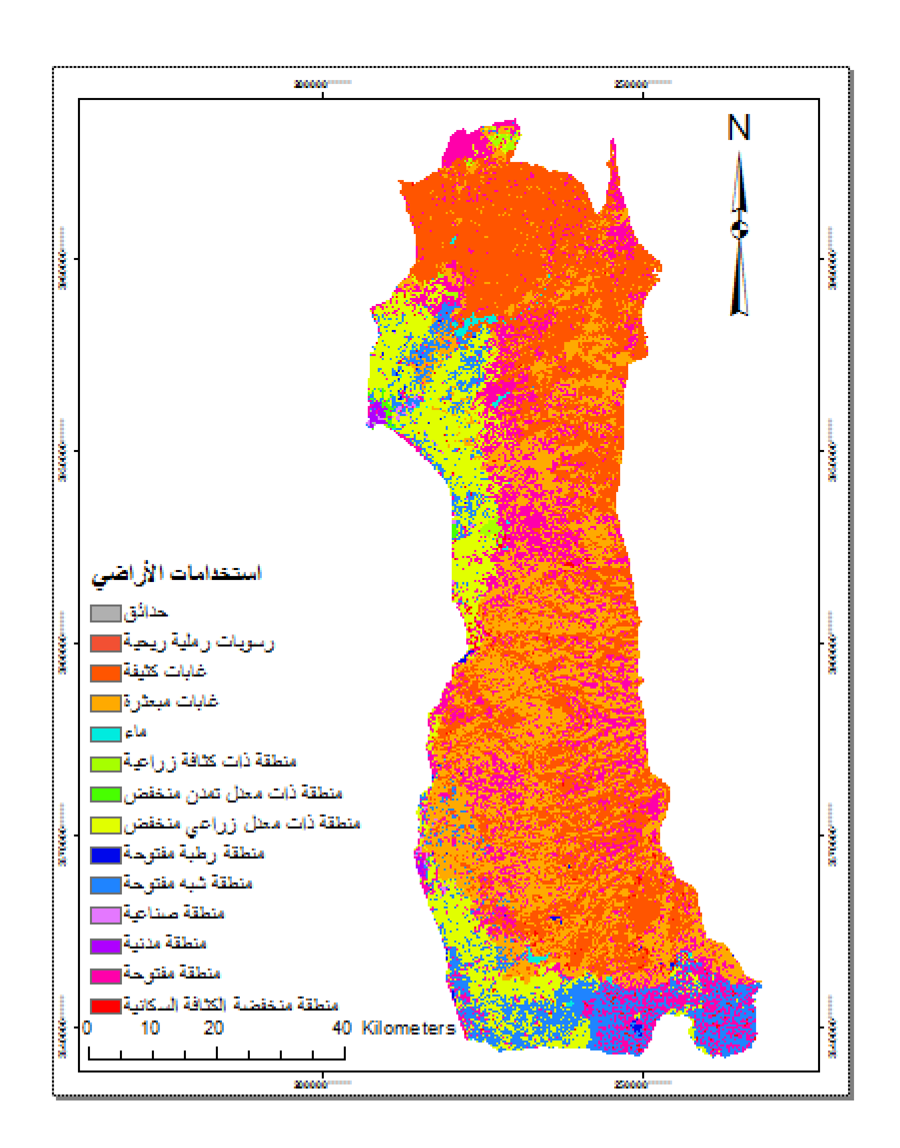
Rowid	VALUE *	COUNT	الوصف_الل	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	695904	صخور أوفيولوتية خضراء	0.086079	13	0.288889	3.356094
1	2	414954	حجر كلسي_مارل_حجر رملي_جص	0.051327	0	0	0
2	3	449809	حجر رملي ناعم_رمل_حصى	0.055639	3	0.066667	1.198211
3	4	293772	حجر كلسي_دولوميت_مارل	0.363378	16	0.355556	0.978473
4	5	455330	مارل غضاري_غضار_حجر كلسي	0.056321	5	0.111111	1.972804
5	6	218107	حصى لحقية_كتل صخرية	0.026978	0	0	0
6	7	453947	حجر رملي ناعم_مارل	0.05615	0	0	0
7	8	96221	حجر رملي_مارل	0.011902	0	0	0
8	9	822681	حجر كلسي_دولوميت	0.10176	6	0.133333	1.310267
9	10	279207	حجر رملي بحري	0.034536	0	0	0
10	11	59299	رسوبات رملية ريحية	0.007335	0	0	0
11	12	120130	إنسكابات و صبات بازلتية	0.148594	2	0.044444	0.299101



الشكل (68) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة الليثولوجيا

3.5.8. استخدامات الأرض Landuse

قمنا بإعادة تصنيف طبقة استخدامات الأراضي إلى 14 صنفاً تمثل جميع الاستخدامات للغطاء الأرضي في منطقة الدراسة حسب الجدول (28) كما في الشكل (69)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (29) كانت النتيجة كما في الشكل (70).



الشكل (69) طبقة استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة

الجدول (28) توضيح الأصناف في طبقة استخدامات الغطاء الأرضي

رقم الصنف	استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة
1	منطقة شبه مفتوحة
2	منطقة معدل زراعي منخفض
3	غابات مبعثرة
4	منطقة ذات كثافة زراعية
5	منطقة مفتوحة
6	منطقة منخفضة الكثافة السكانية
7	غابات كثيفة

الجدول (28) توضيح الأصناف في طبقة استخدامات الغطاء الأرضي

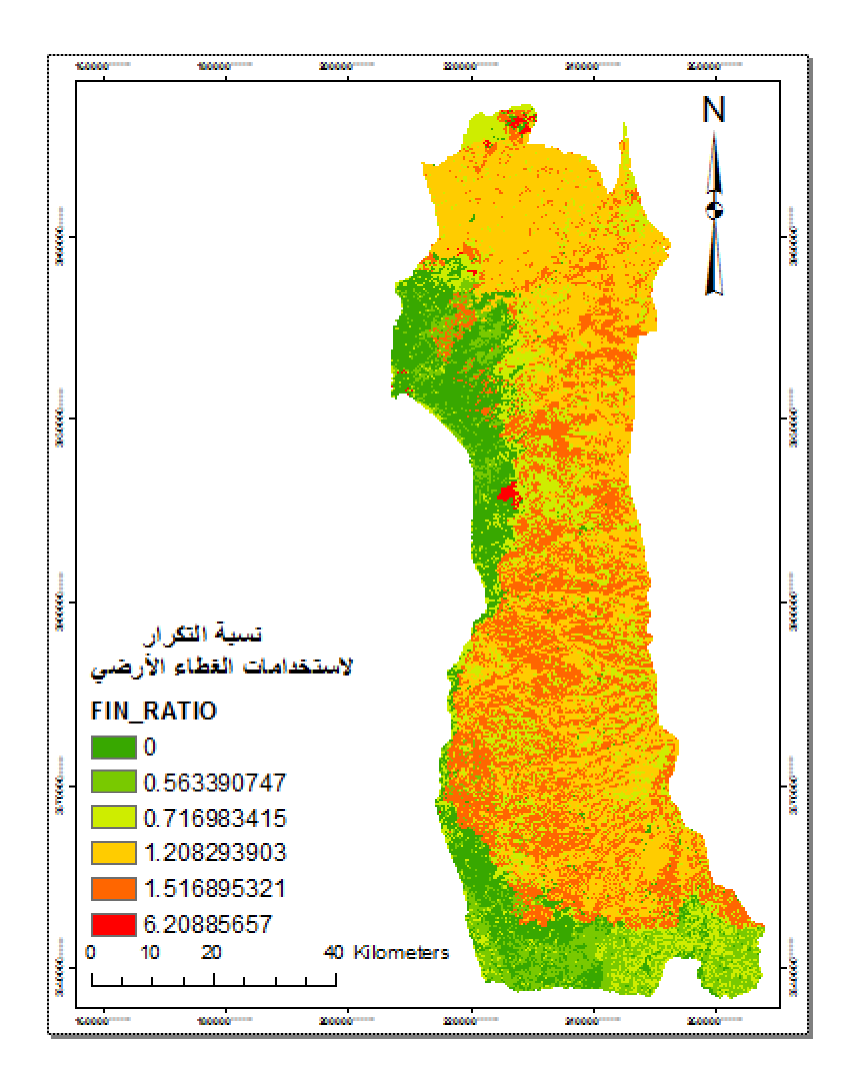
رقم الصنف	استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة
8	ماء
9	منطقة صناعية
10	منطقة مبللة مفتوحة
11	رسوبات رملية ريحية
12	منطقة معدل تمدن منخفض
13	حدائق
14	منطقة مدنية

الجدول (29) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة استخدامات الأراضي

Table

landuse

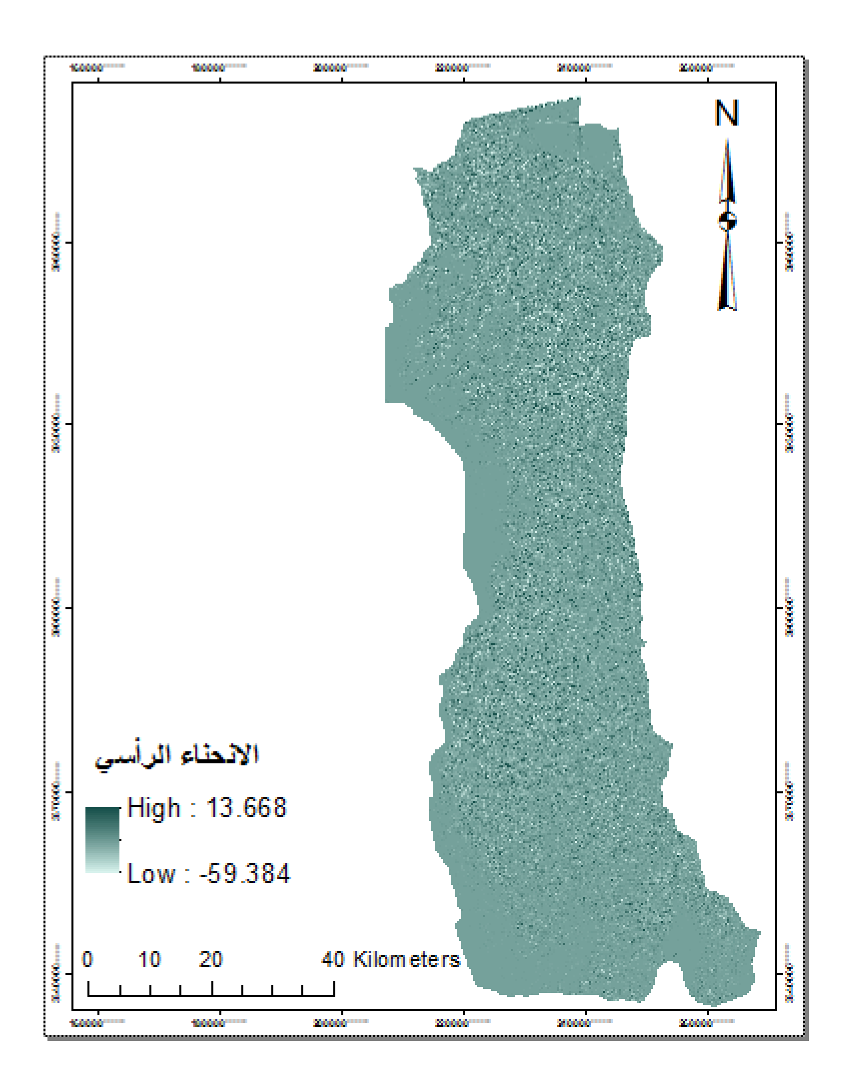
Rowid	VALUE *	COUNT	FEATURE	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	627420	SEMI_OPEN_AREA	0.078887	2	0.044444	0.563391
1	2	941490	LOW_PLANTATION	0.118376	0	0	0
2	3	209727	SPARSE_FOREST	0.263697	18	0.4	1.516895
3	4	28466	HIGH_PLANTATION	0.003579	1	0.022222	6.208857
4	5	147904	OPEN_AREA	0.185964	6	0.133333	0.716983
5	6	53668	LOW_RESIDENTIAL	0.006748	0	0	0
6	7	263292	DENSE_FOREST	0.331045	18	0.4	1.208294
7	8	34138	WATER	0.004292	0	0	0
8	9	15713	INDUSTRIAL_AREA	0.001976	0	0	0
9	10	15047	HIGH_RESIDENTIAL	0.001892	0	0	0
10	11	496	OPEN_WET_AREA	0.000062	0	0	0
11	12	11813	LOW_URBAN	0.001485	0	0	0
12	13	395	PARK	0.00005	0	0	0
13	14	15477	URBAN	0.001946	0	0	0



الشكل (70) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة استخدامات الأراضي

3.5.9. الانحناء الرأسي Profile Curvature

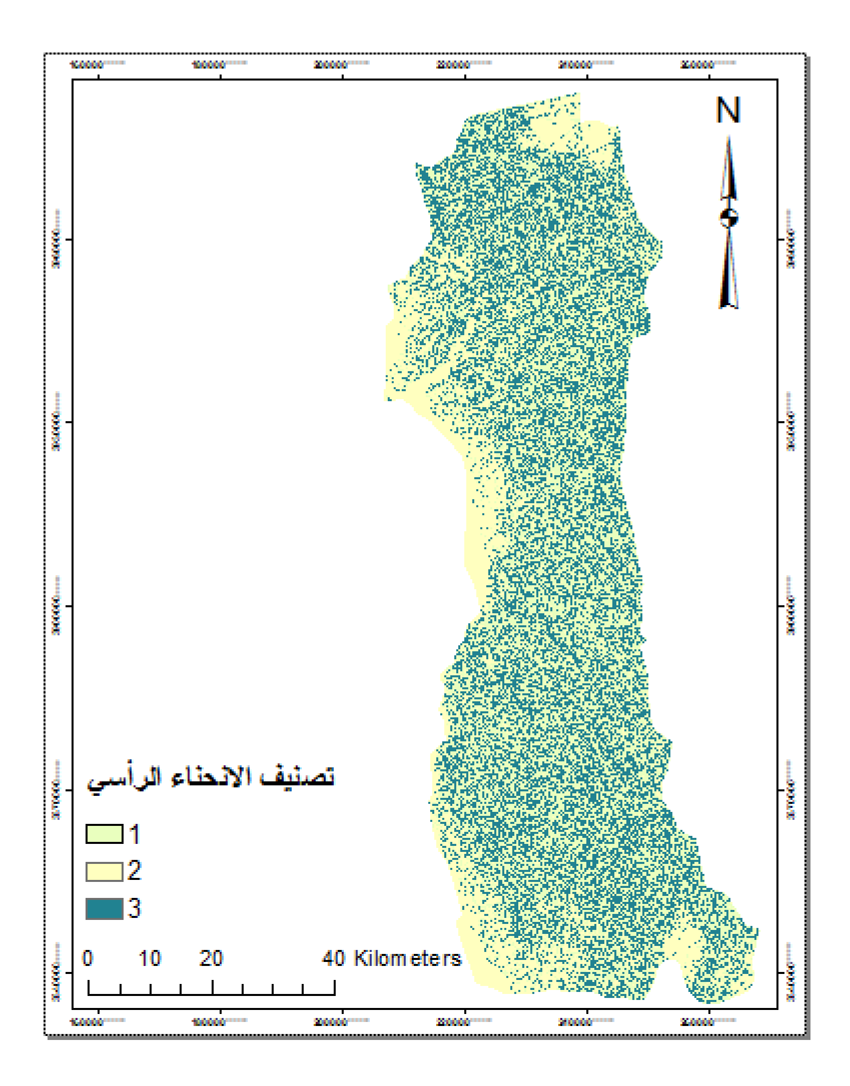
قمنا بإعادة تصنيف الطبقة بعد حسابها من Spatial Analyst Tools → Surface → Curvature (اعتماداً على طبقة DEM) الشكل (71) إلى 3 أصناف حسب الجدول (30) كما في الشكل (72)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (31) كانت النتيجة كما في الشكل (73).



الشكل (71) طبقة لانحناء الرأسي (100/m) في منطقة الدراسة

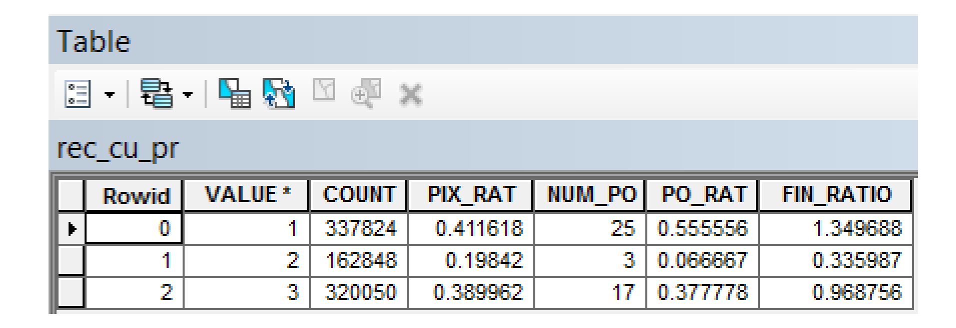
الجدول (30) توضيح الأصناف في طبقة profile curvature

رقم الصنف	الانحناء الرأسي
1	-59.384 _ -0.001
2	-0.001 _ 0.001
3	0.001 _ 13.668



الشكل (72) طبقة لانحناء الرأسي بعد إعادة تصنيفها

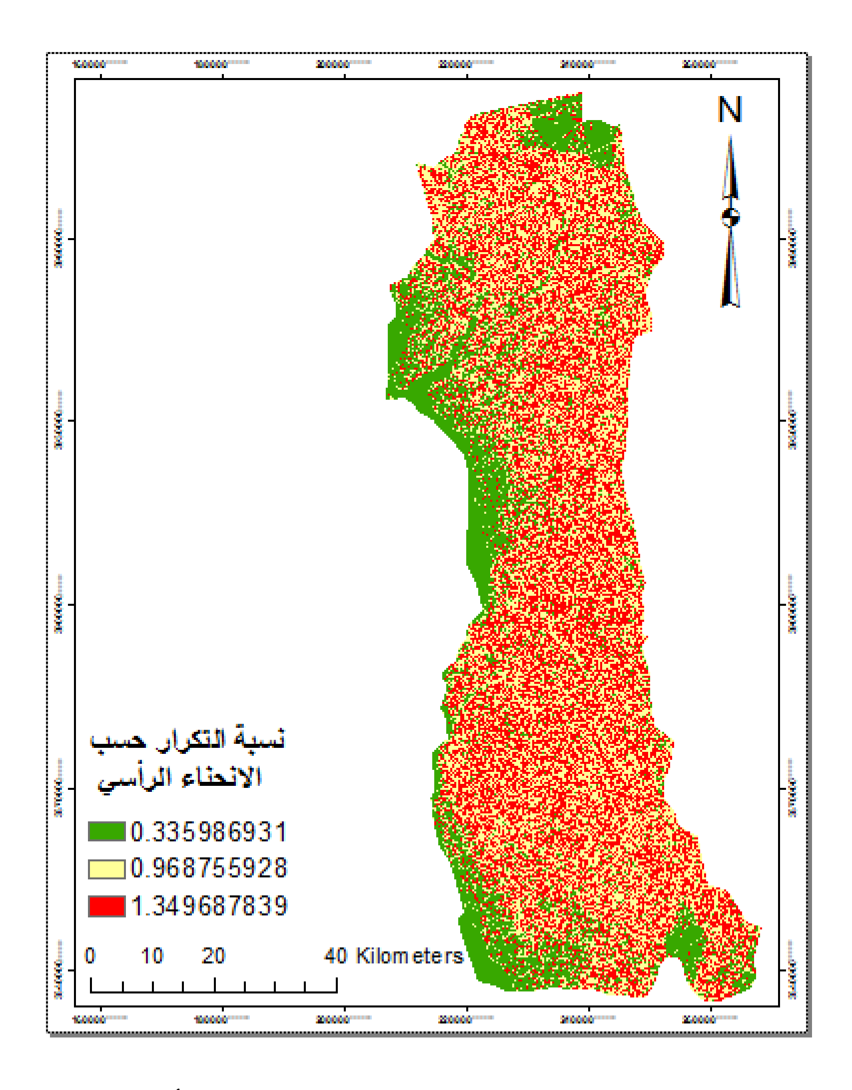
الجدول (31) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة profile curvature



Table

rec_cu_pr

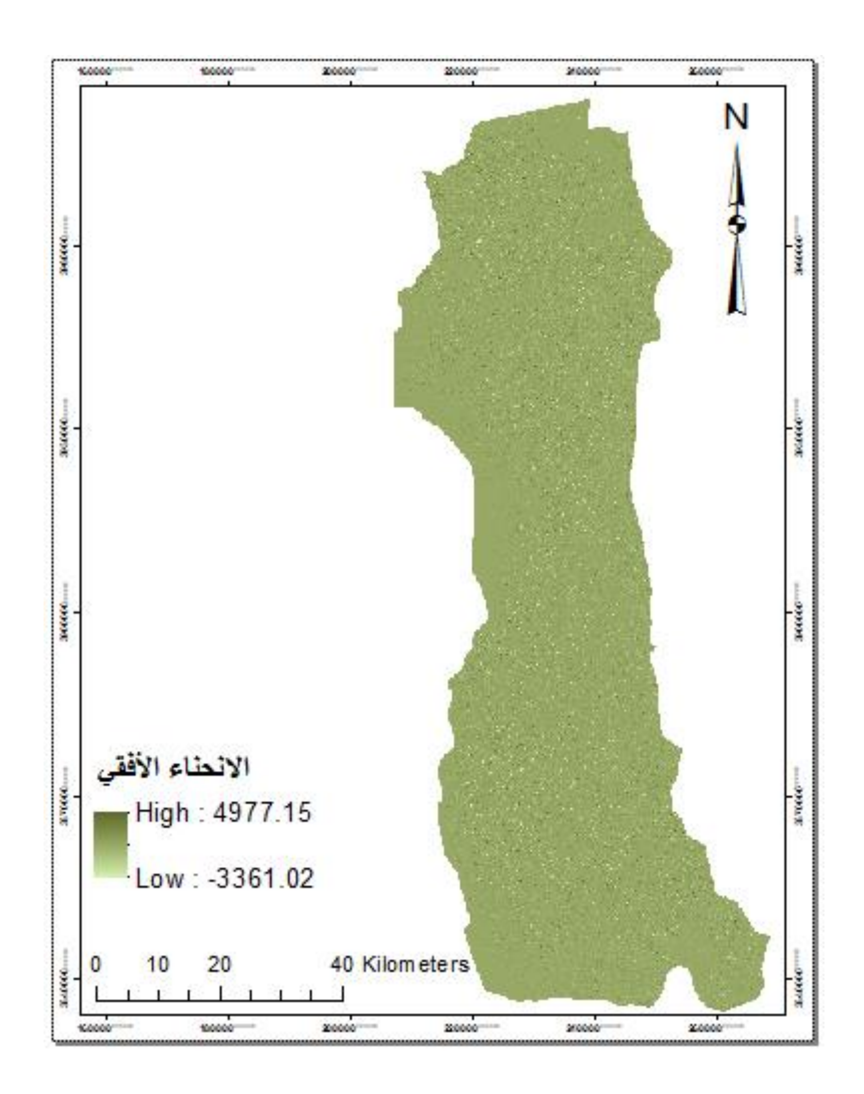
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	337824	0.411618	25	0.555556	1.349688
1	2	162848	0.19842	3	0.066667	0.335987
2	3	320050	0.389962	17	0.377778	0.968756



الشكل (73) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة لانحناء الرأسي

3.5.10. الانحناء الأفقي Plan Curvature

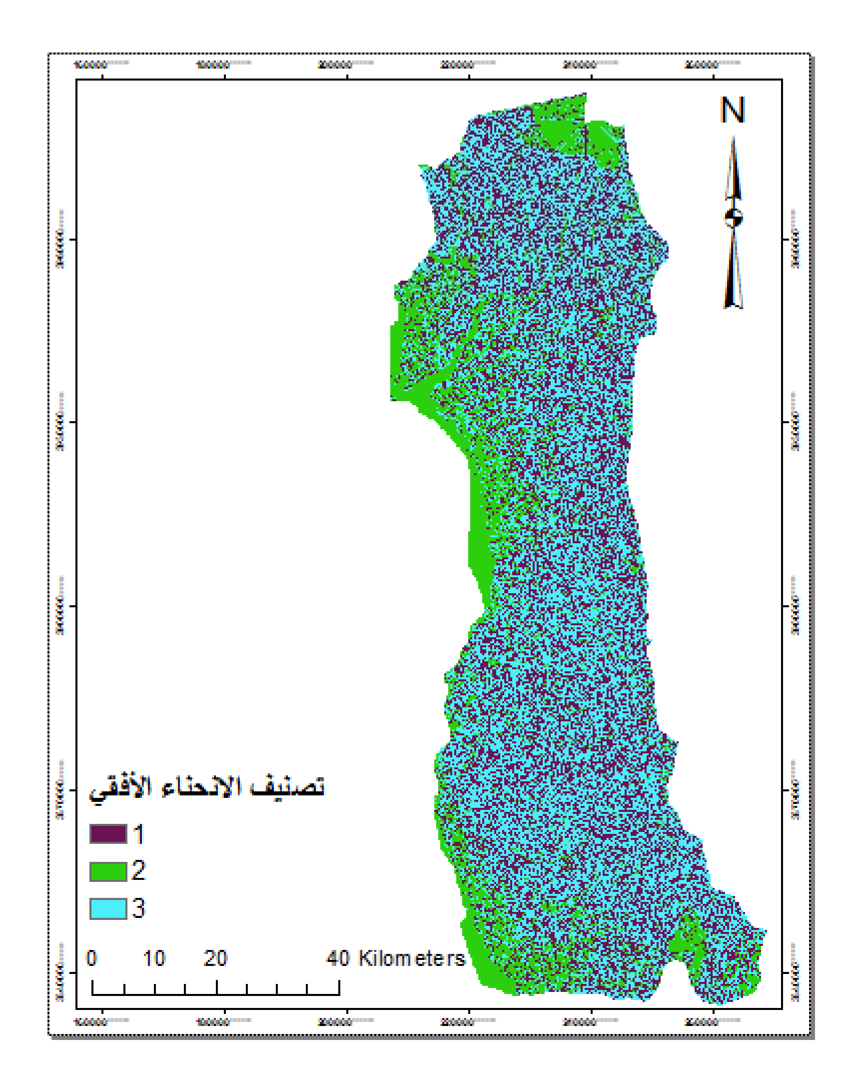
قمنا بإعادة تصنيف الطبقة بعد حسابها من: Spatial Analyst Tools → Surface → Curvature (اعتماداً على طبقة DEM) الشكل (74) إلى 3 أصناف حسب الجدول (32) كما في الشكل (75)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (33) تظهر النتيجة على الشكل (76).



الشكل (74) طبقة لانحناء الأفقي (100/m) في منطقة الدراسة

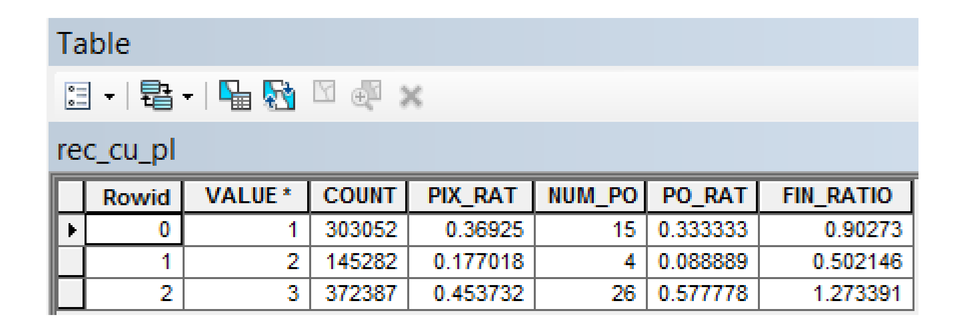
الجدول (32) توضيح الأصناف في طبقة plan curvature

رقم الصنف	الانحناء الأفقي
1	−3361.02 _ −0.001
2	−0.001 _ 0.001
3	0.001 _ 4977.15



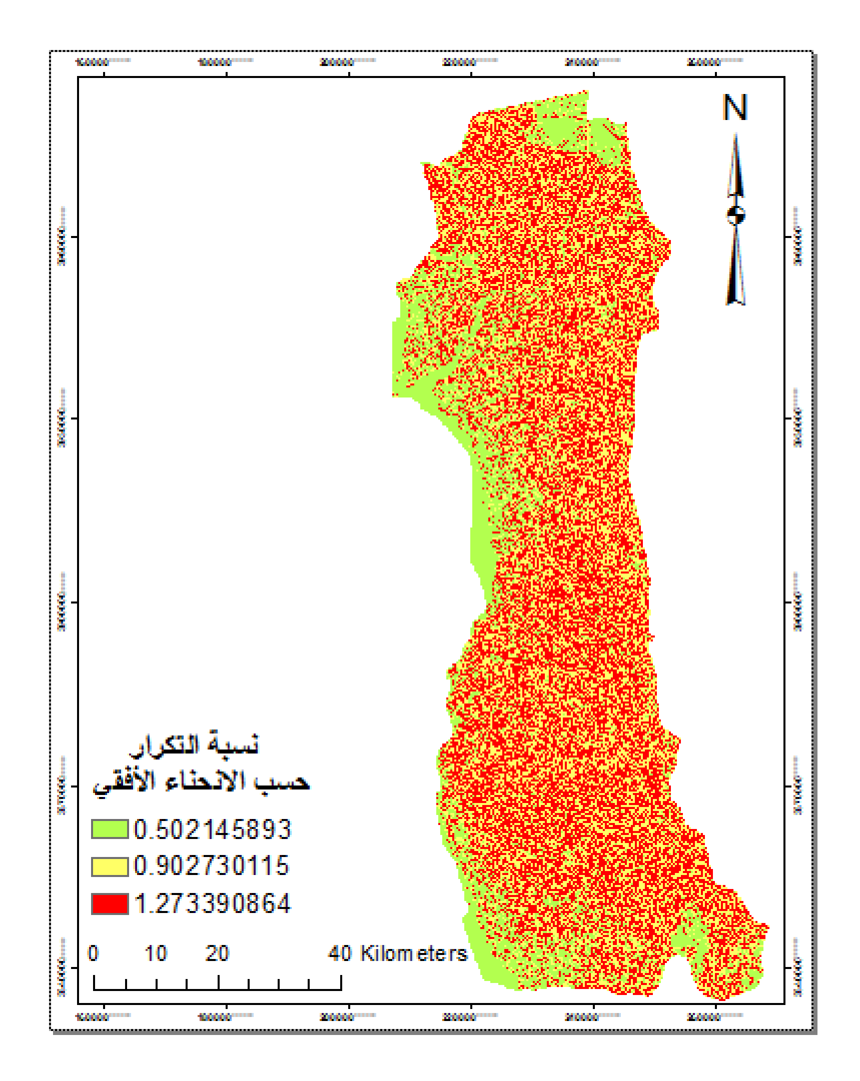
الشكل (75) طبقة لانحناء الأفقي بعد إعادة تصنيفها

الجدول (33) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة plan curvature


Table

rec_cu_pl

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	303052	0.36925	15	0.333333	0.90273
1	2	145282	0.177018	4	0.088889	0.502146
2	3	372387	0.453732	26	0.577778	1.273391



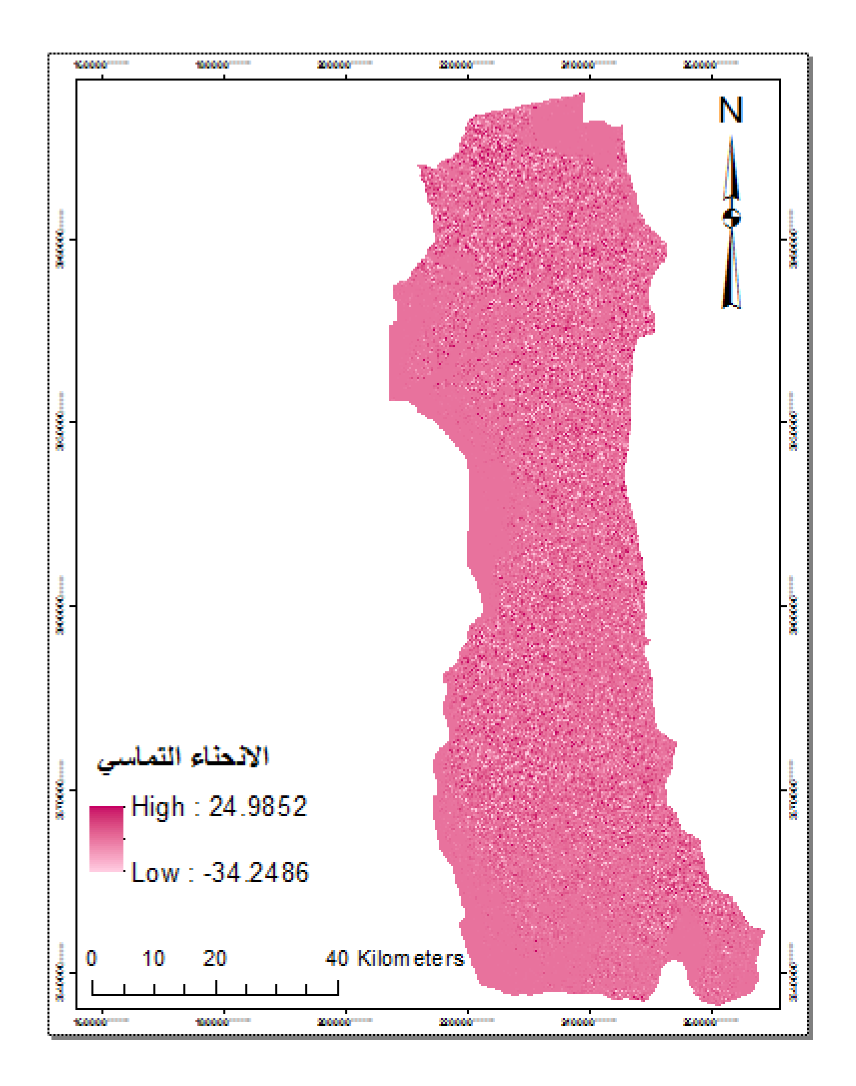
الشكل (76) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة لانحناء الأفقي

3.5.11.الانحناء المماسي Tangential Curvature

قمنا بإعادة تصنيف الطبقة بعد حسابها الشكل(77) من:

DEM Surface Tools 10 → Curvature

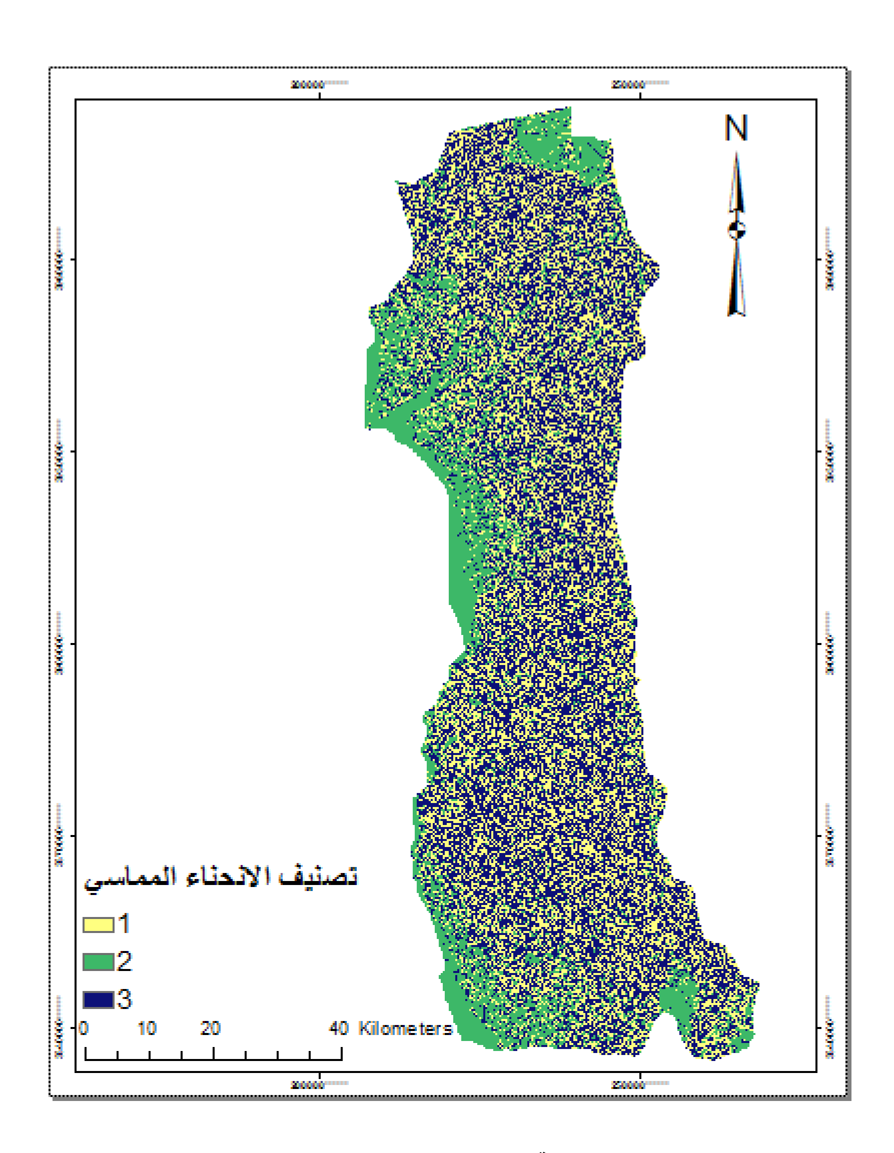
إلى 3 أصناف حسب الجدول (34) كما في الشكل (78)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (35) كانت النتيجة كما في الشكل (79).



الشكل (77) طبقة لانحناء المماسي (100/m) في منطقة الدراسة

الجدول (34) توضيح الأصناف في طبقة tangential curvature

رقم الصنف	الانحناء المماسي
1	-34.249_ -0.001
2	-0.001 _ 0.001
3	0.001 _ 24.985



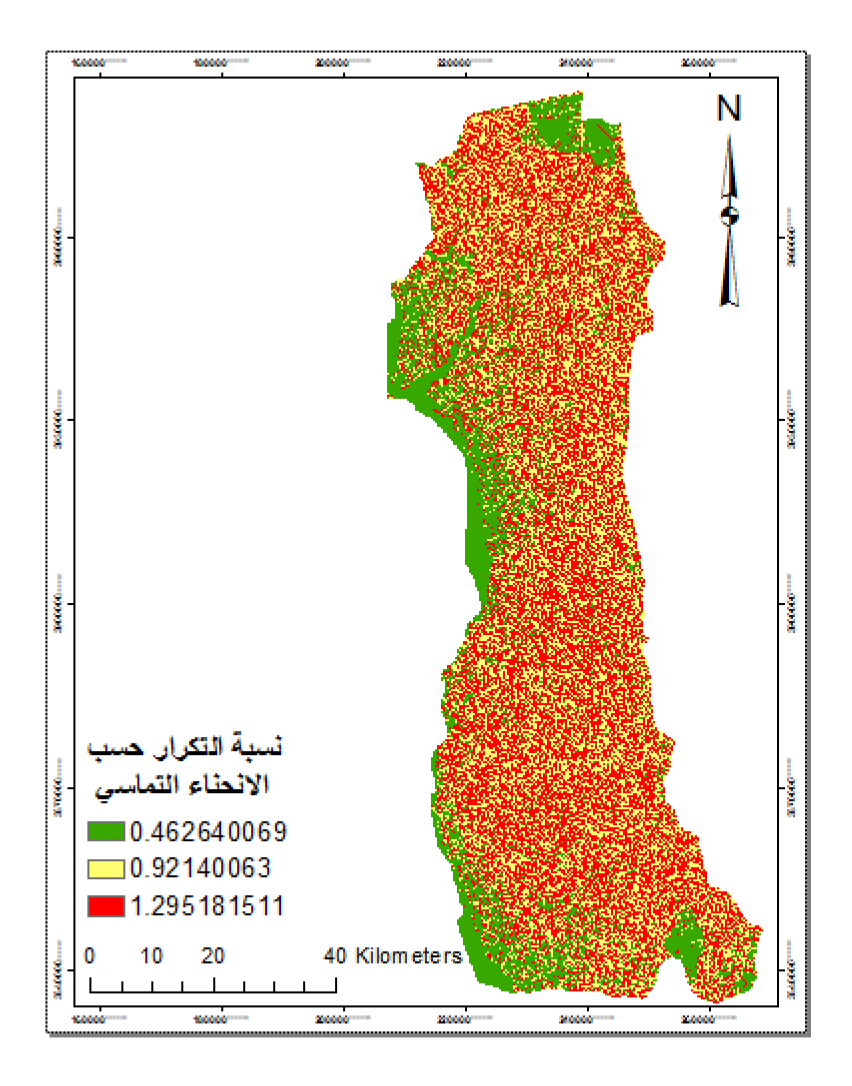
الشكل (78) طبقة لانحناء المماسي بعد إعادة تصنيفها

الجدول (35) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة **tangential curvature**

Table

rec_cu_tan

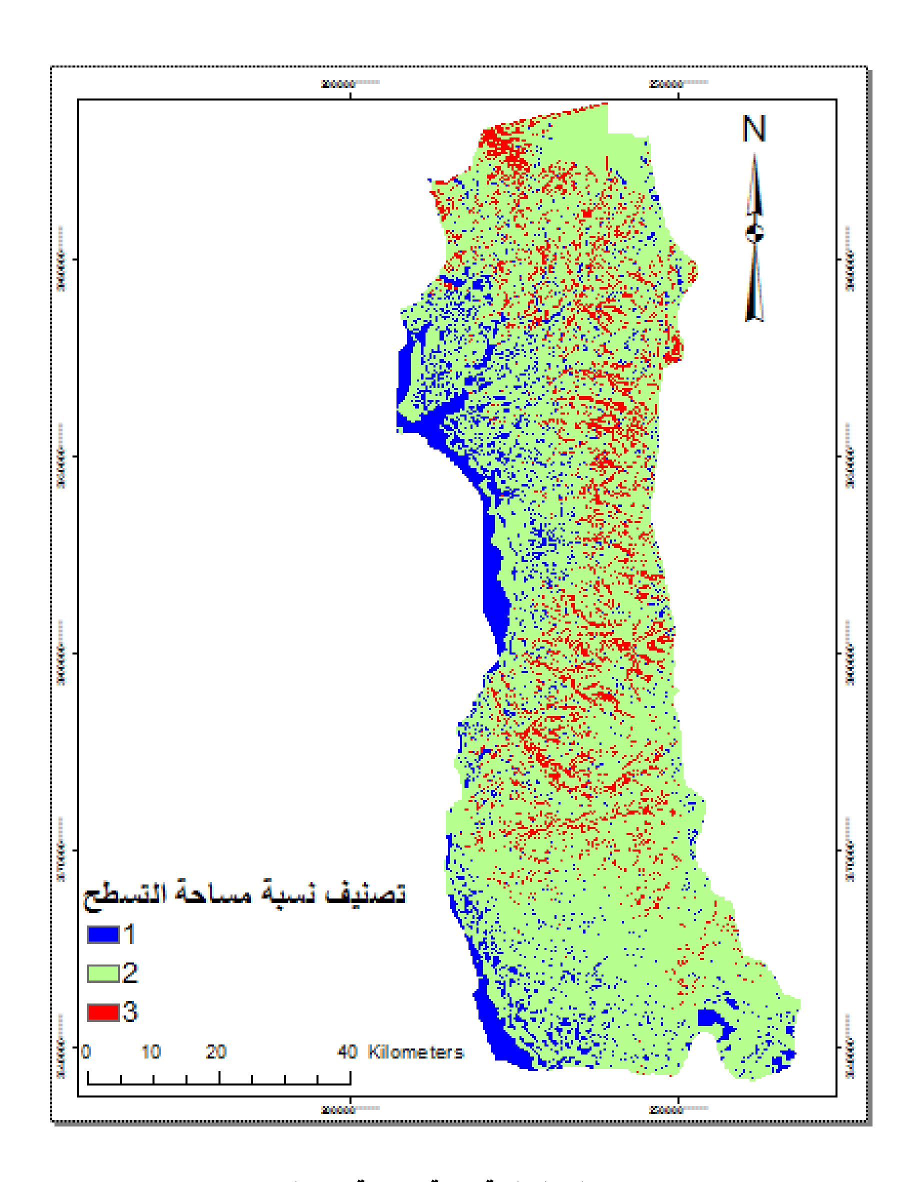
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	FIN_RATIO	PO_RAT
0	1	296911	0.361768	15	0.921401	0.333333
1	2	157688	0.192134	4	0.46264	0.088889
2	3	366122	0.446098	26	1.295182	0.577778



الشكل (79) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة الانحناء المماسي

3.5.12. نسبة تسطح المنطقة Surface Area Ratio (SAR)

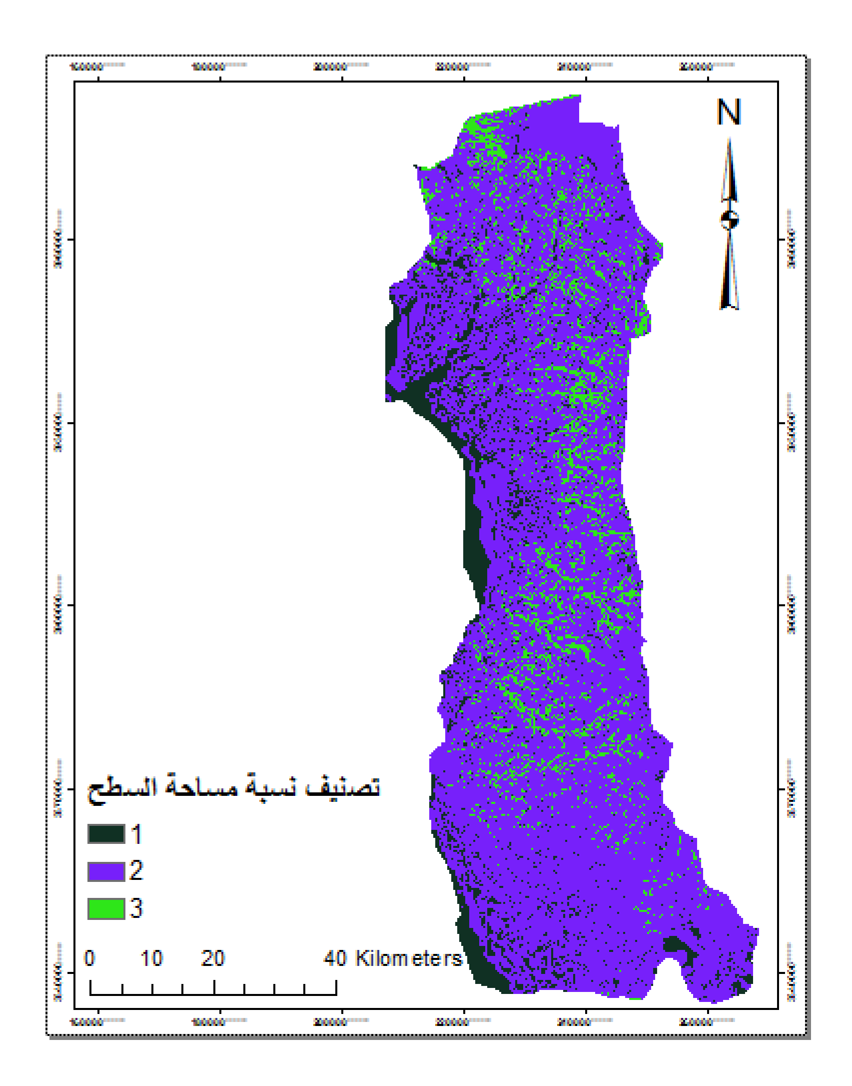
قمنا بإعادة تصنيف الطبقة بعد حسابها من DEM Surface Tools الشكل (80) إلى 3 أصناف حسب الجدول (36) كما في الشكل (81) وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (37) كانت النتيجة كما في الشكل (82).



الشكل (80) طبقة نسبة مساحة التسطح

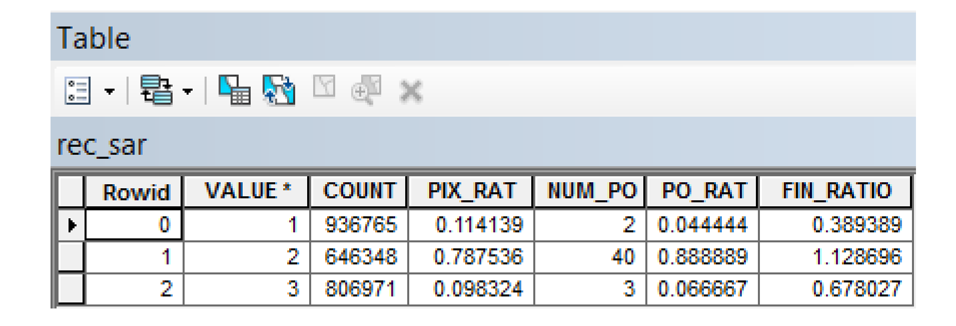
الجدول(36) توضيح الأصناف في طبقة surface area ratio

رقم الصنف	نسبة مساحة التسطح
1	1
2	1 _ 1.1
3	> 1.1



الشكل (81) طبقة نسبة مساحة التسطح بعد إعادة تصنيفها

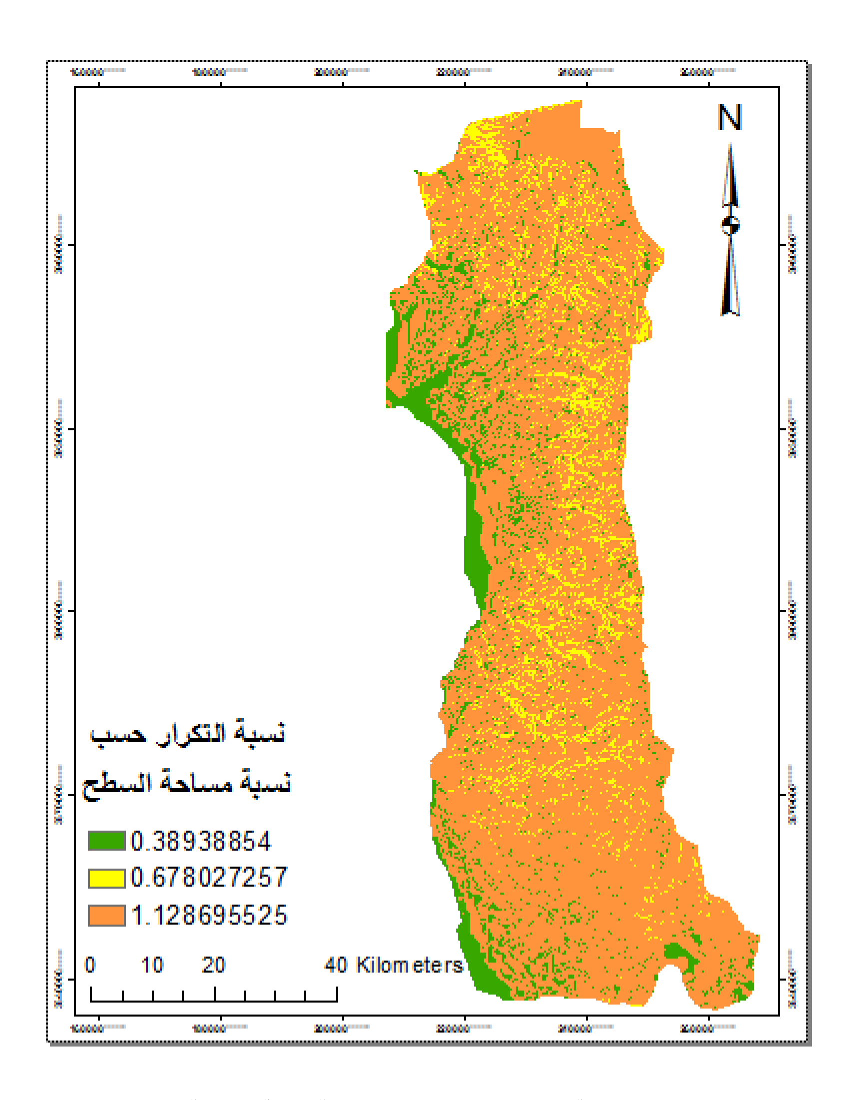
الجدول (37) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة surface area ratio



Table

rec_sar

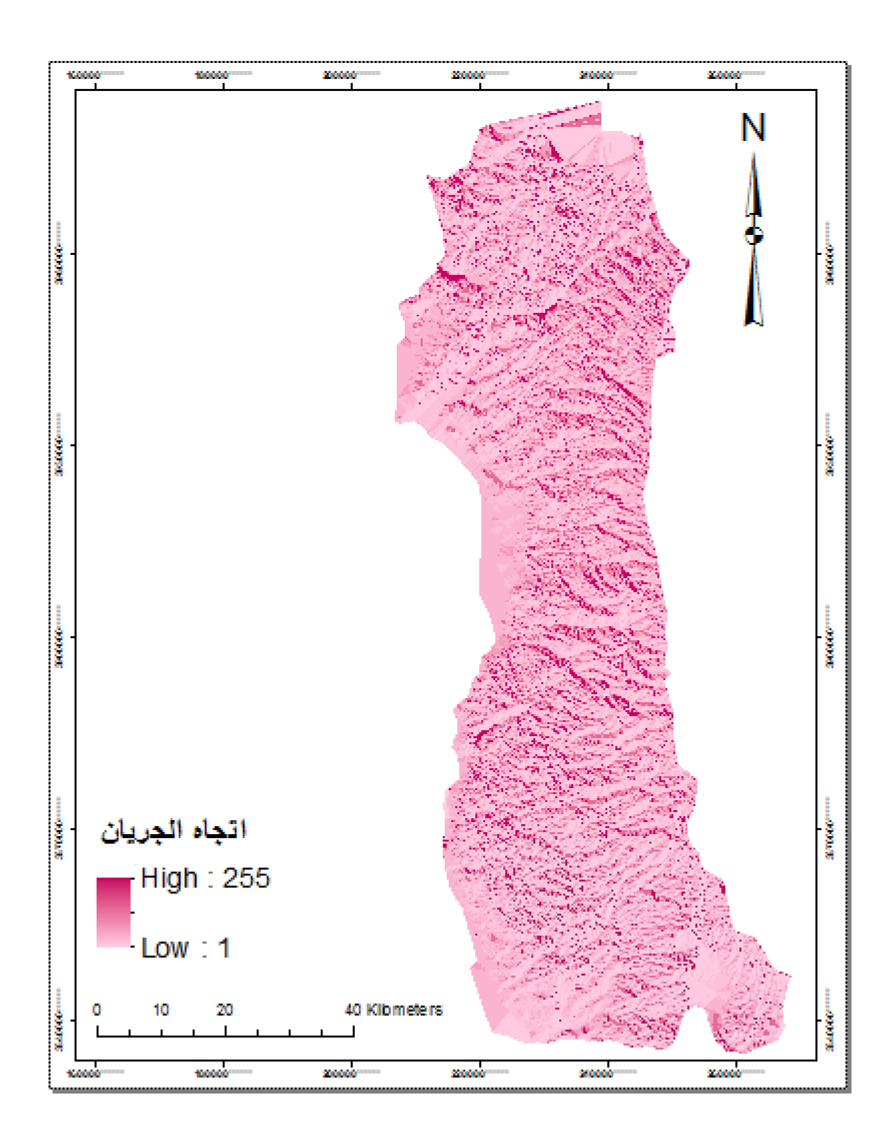
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	936765	0.114139	2	0.044444	0.389389
1	2	646348	0.787536	40	0.888889	1.128696
2	3	806971	0.098324	3	0.066667	0.678027



الشكل (82) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة نسبة مساحة التسطح

3.5.13. دليل الرطوبة الطبوغرافي TWI Topographic Wetness Index

قمنا بحساب الدليل تبعاً للمعادلة (4) وذلك باستخدام Raster Calculator، الشكل (84) آخذين بعين الاعتبار أن المساحة البلانيمترية As تمثل طبقة تراكم التدفق Flow Accumulation المشتقة من طبقة اتجاه التدفق(الجريان) Flow Direction الشكل (83)، ثم بإعادة تصنيف الطبقة مباشرة إلى 4 أصناف باستخدام طريقة الحدود الطبيعية Jenks حسب الجدول (38) كما في الشكل (85)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (39) حصلنا على النتيجة في الشكل (86).



الشكل (83) طبقة اتجاه الجريان في منطقة الدراسة

✓ تم حساب طبقة Flow direction من :

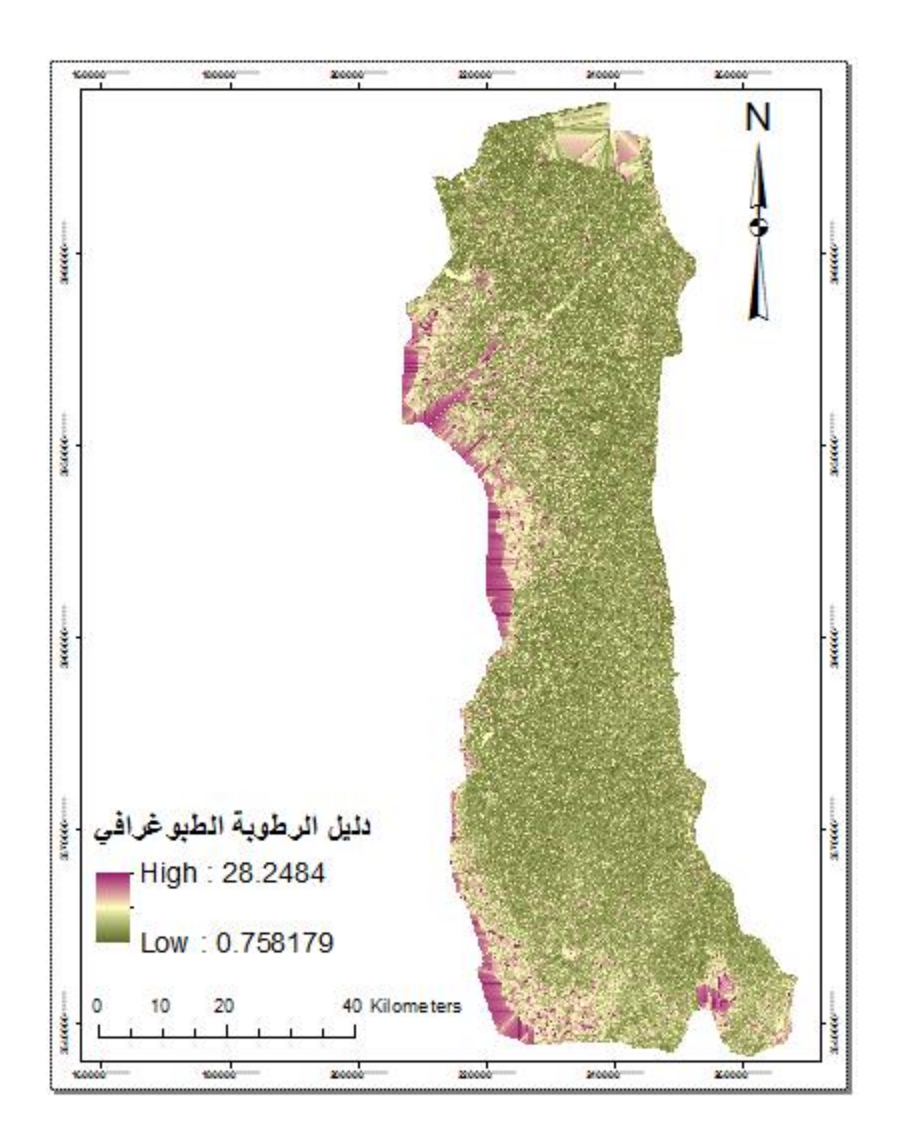
Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Direction

اعتماداً على طبقة DEM.

✓ تم حساب طبقة Flow accumulation من :

Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation

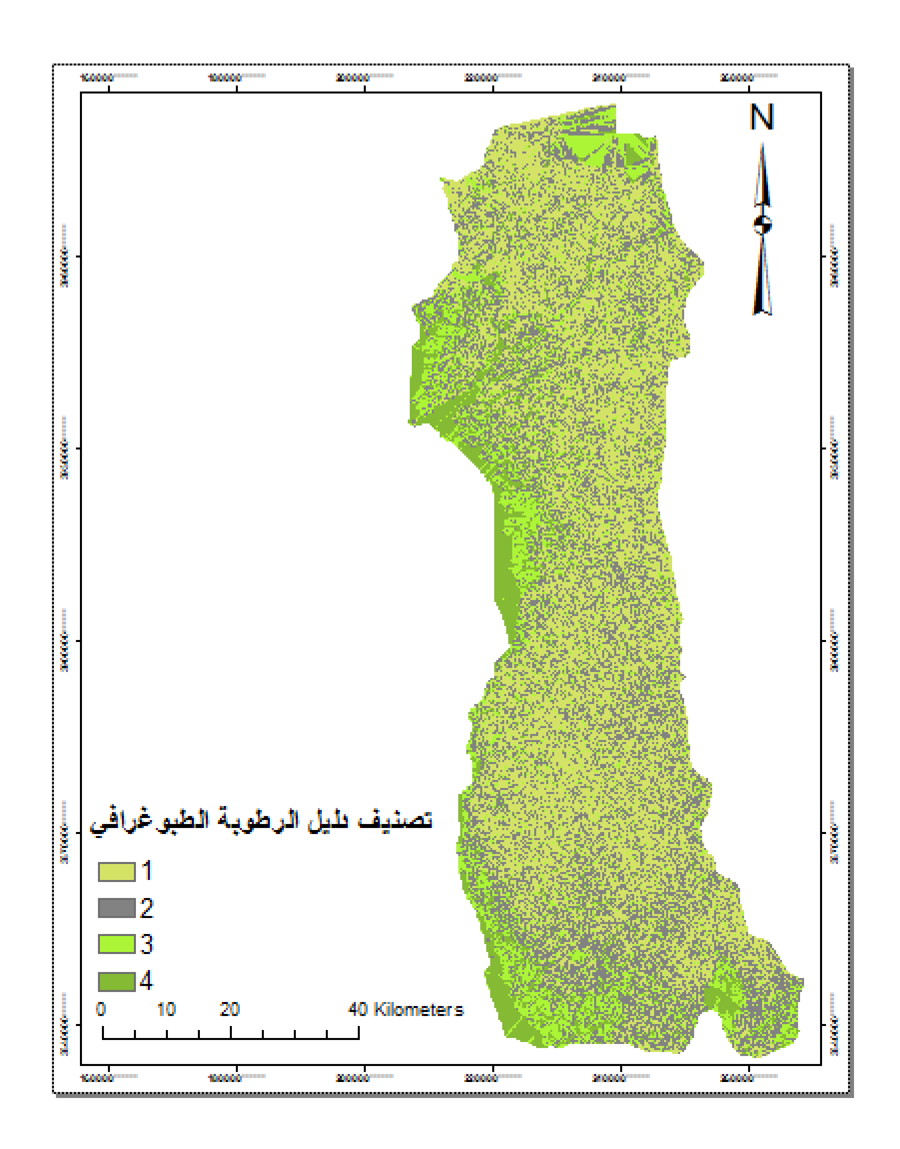
اعتماداً على طبقة اتجاه الجريان Flow Direction.



الشكل (84) طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي في منطقة الدراسة

الجدول (38) توضيح الأصناف في طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي

رقم الصنف	دليل الرطوبة الطبوغرافي
1	0.758 _ 6.256
2	6.256 _ 8.736
3	8.736 _ 12.078
4	12.078 _ 28.248



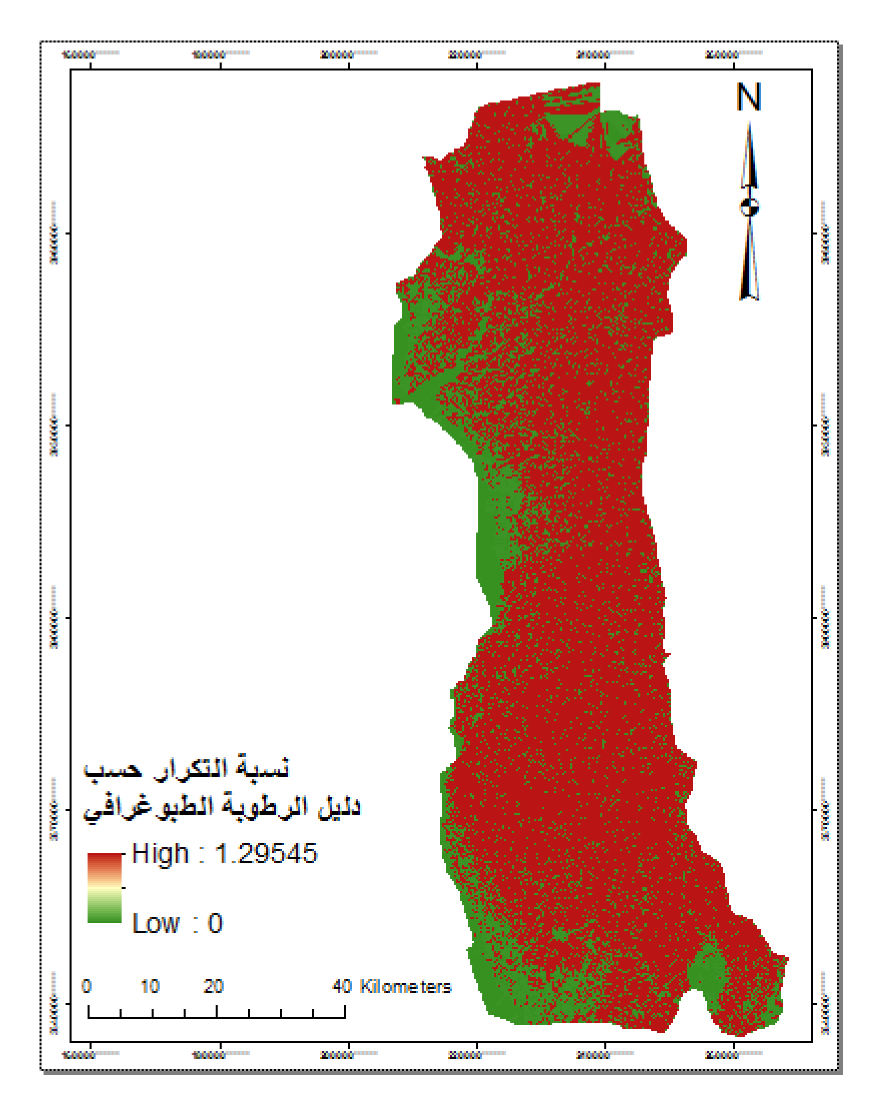
الشكل (85) طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي بعد إعادة تصنيفها

الجدول (39) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي

Table

rec_twi1

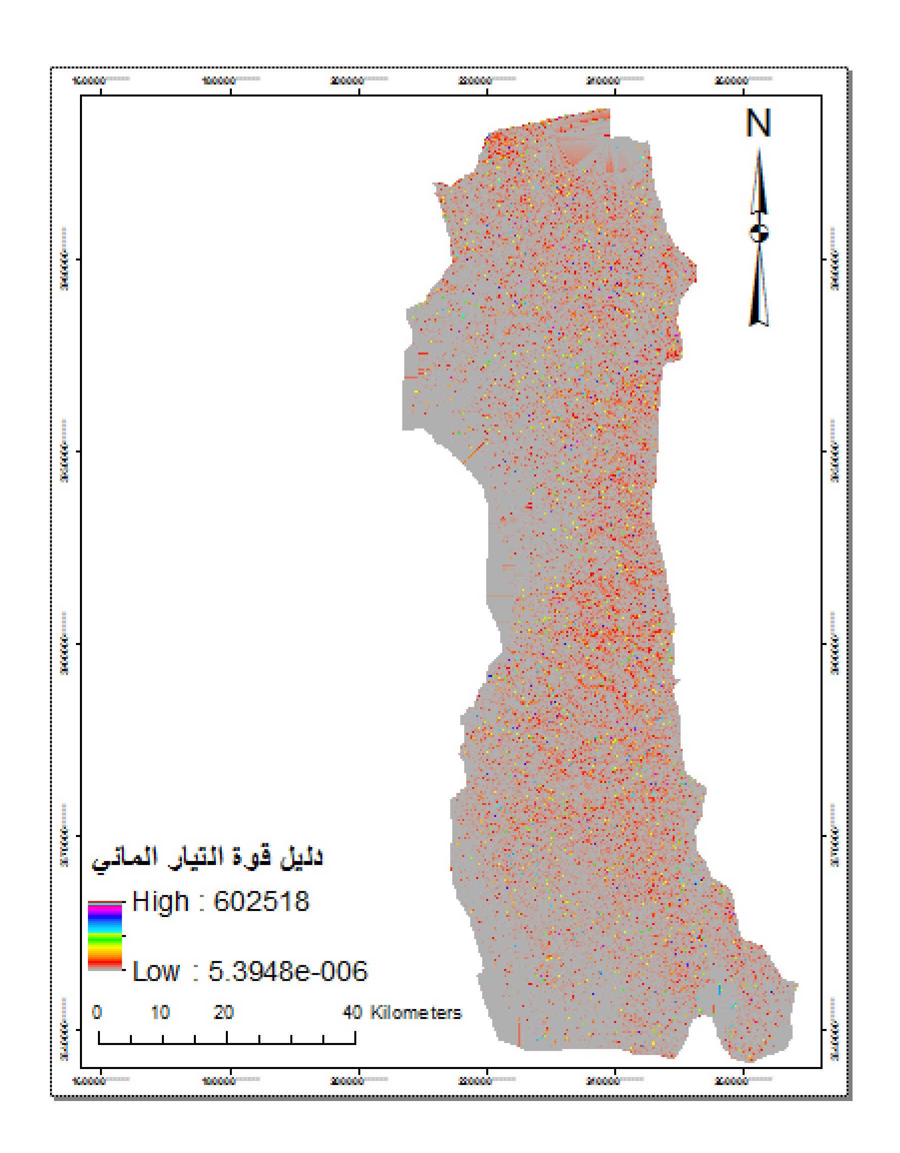
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	352823	0.42885	25	0.555556	1.295454
1	2	266868	0.324374	15	0.333333	1.027621
2	3	128291	0.155936	5	0.111111	0.712544
3	4	747361	0.09084	0	0	0



الشكل (86) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي

3.5.14. دليل قوة التيار المائي SPI Stream Power Index

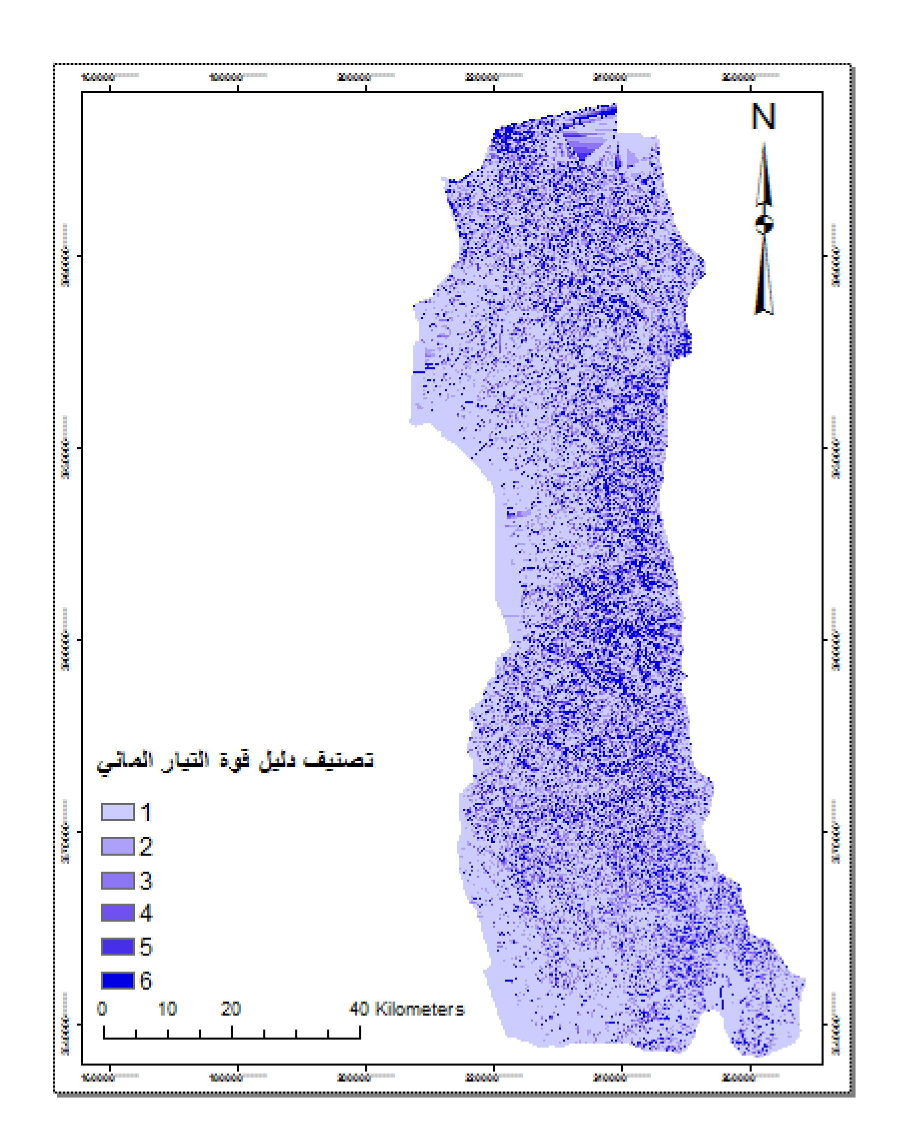
قمنا بحساب الدليل تبعاً للمعادلة (5) وذلك باستخدام Raster Calculator الشكل (87) آخذين بعين الاعتبار أن المساحة البلانيمترية As تمثل طبقة تراكم التدفق المشتقة من طبقة اتجاه التدفق Flow Direction الشكل (83)، ثم بإعادة تصنيف الطبقة إلى 4 أصناف باستخدام طريقة الحدود الطبيعية Jenks حسب الجدول(40) كما في الشكل (88)، وبحساب نسبة التكرار كما في الجدول (41) حصلنا على النتيجة في الشكل(89).



الشكل (87) طبقة دليل قوة التيار المائي

الجدول (40) توضيح الأصناف في طبقة دليل قوة التيار المائي

دليل قوة التيار المائي	رقم الصنف
0 _ 2362.816	1
2362.816 _ 16539.712	2
16539.712 _ 56707.582	3
56707.582 _ 144131.772	4
144131.772 _ 297714.807	5
297714.807 _ 602518.063	6



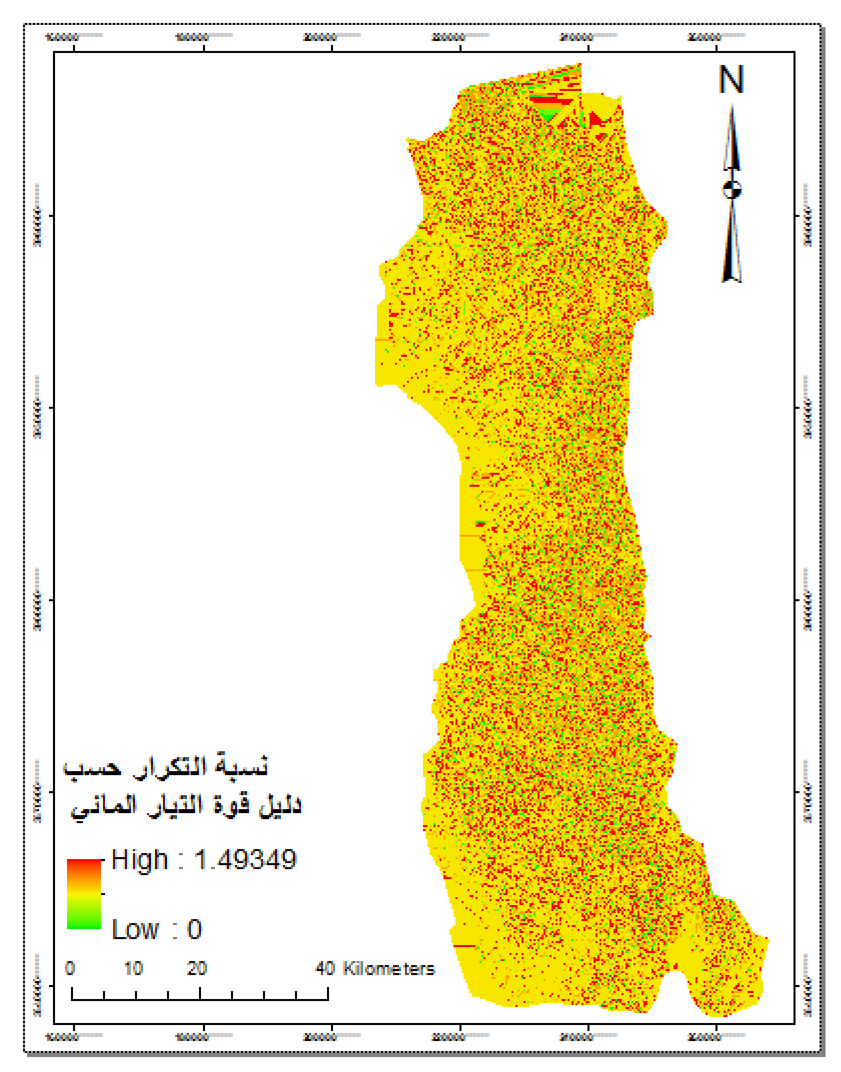
الشكل (88) طبقة دليل قوة التيار المائي بعد إعادة تصنيفها

الجدول (41) حساب نسبة التكرار لكل صنف في طبقة دليل قوة التيار المائي

Table

rec_spi111

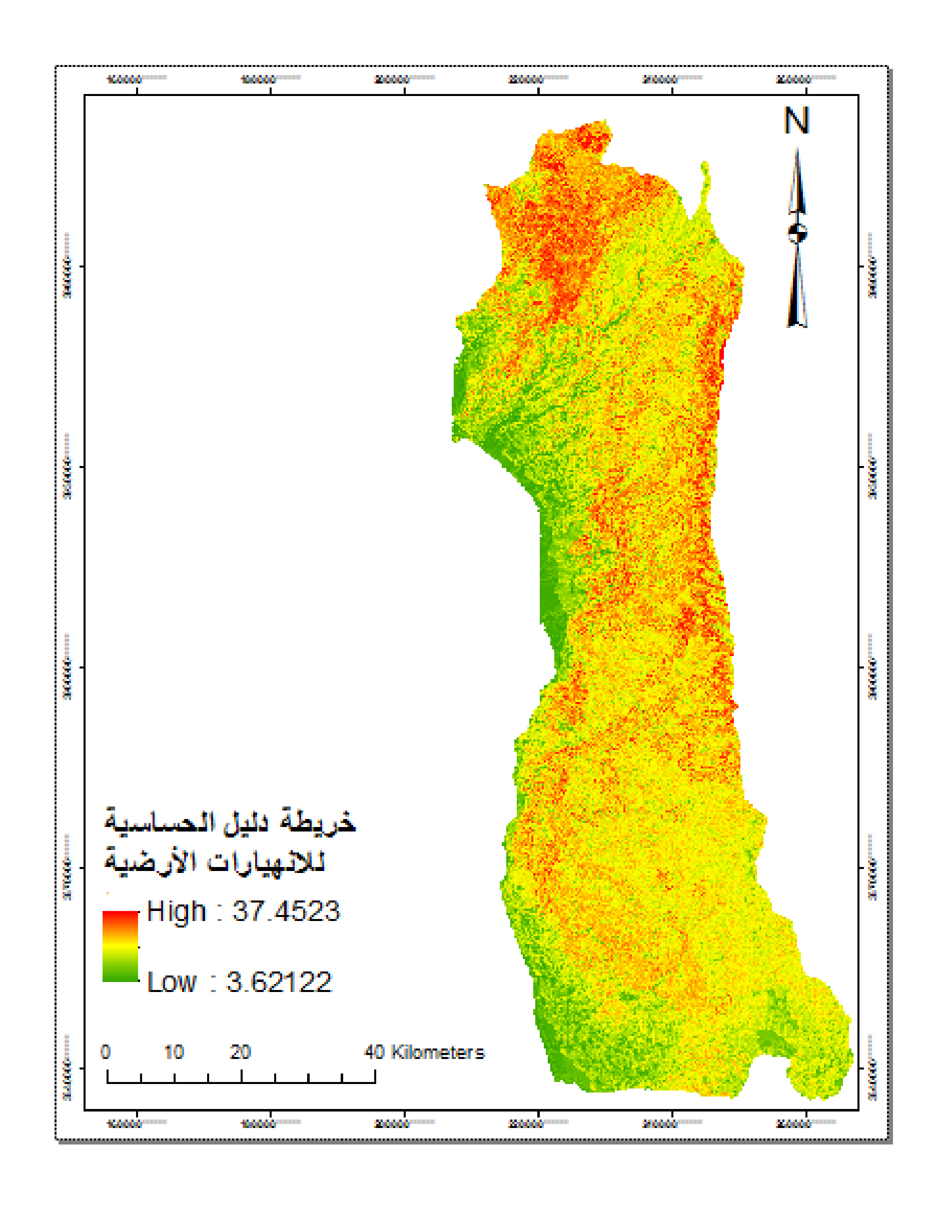
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	457904	0.556574	23	0.511111	0.918316
1	2	134657	0.163674	11	0.244444	1.493487
2	3	678454	0.082465	4	0.088889	1.077901
3	4	393310	0.047806	1	0.022222	0.464841
4	5	247278	0.030056	0	0	0
5	6	982532	0.119425	6	0.133333	1.116462



الشكل (89) نسبة التكرار لكل صنف في طبقة دليل قوة التيار المائي

3.5.15. إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية

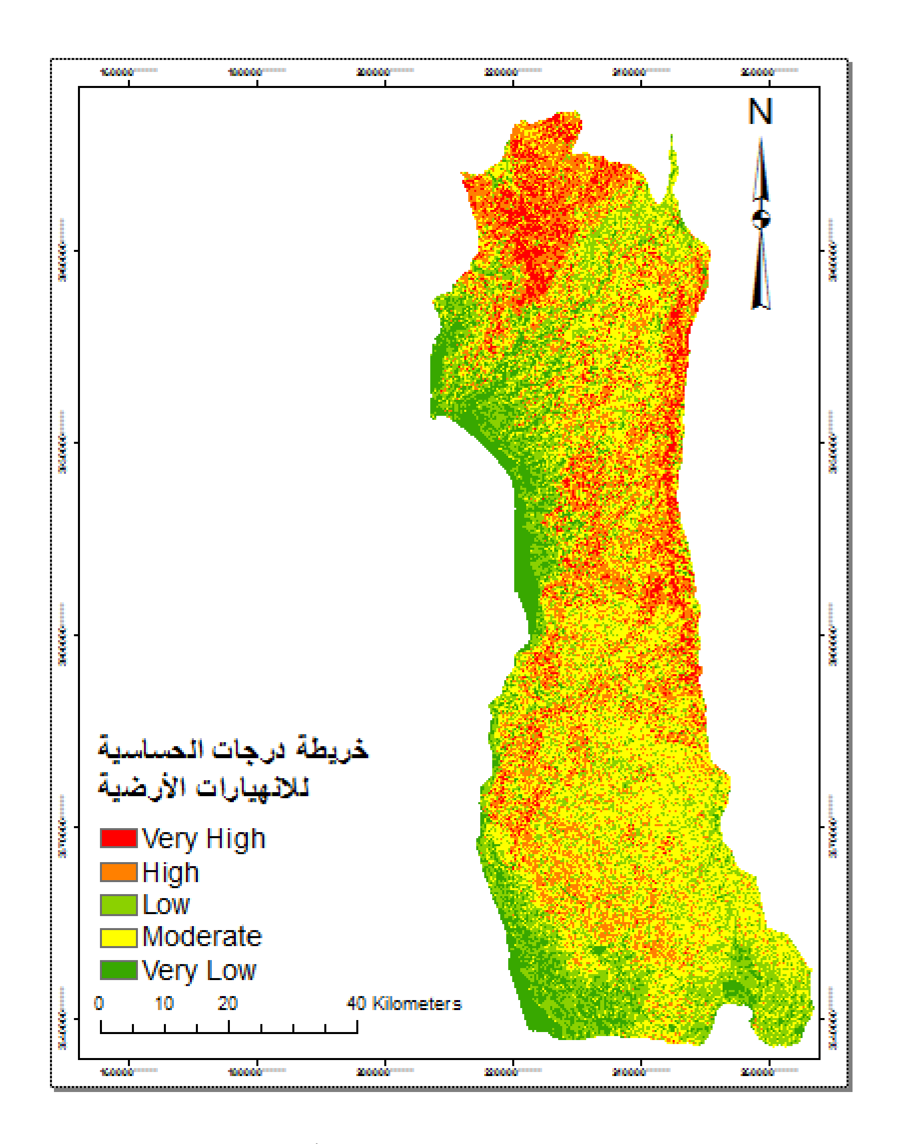
تم إنتاج خريطة دليل الحساسية للانهيارات الأرضية الشكل (90) بتطبيق العلاقة رقم (6)، أي بجمع جميع الطبقات المبينة لنسب التكرار الأشكال (52,55,57,60,63,66,68,70,73,76,79,82,86,89) باستخدام الأمر: Lookup → Raster Reclass → 3D Analyst Tools ثم Raster Calculator وبإعادة تصنيف الخريطة إلى 5 أصناف حسب طريقة الحدود الطبيعية Jenks كما في الجدول (42) حصلنا على خريطة درجات الحساسية للانهيارات الأرضية الموضحة في الشكل (91).



الشكل (90) خريطة دليل الحساسية للانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة

الجدول (42) إعادة تصنيف درجات الحساسية للانهيارات الأرضية باستخدام طريقة **Natural Breaks**

Landslide Sensitivity Index Value قيمة مؤشر الحساسية للانهيارات الأرضية	Sensitivity Grade	درجة الحساسية
3.621 - 9.989	Very Low	منخفضة جداً
9.989 - 13.306	Low	منخفضة
13.306 - 15.827	Moderate	متوسطة
15.827 - 18.746	High	عالية
18.746 - 37.452	Very High	عالية جداً



الشكل (91) خريطة درجات الحساسية للانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة

3.6. الخطوات العملية المتبعة في إنتاج خريطة الحساسية النهائية ومناقشة النتائج

3.6.1. الخطوات العملية المتبعة في إنتاج خريطة الحساسية النهائية

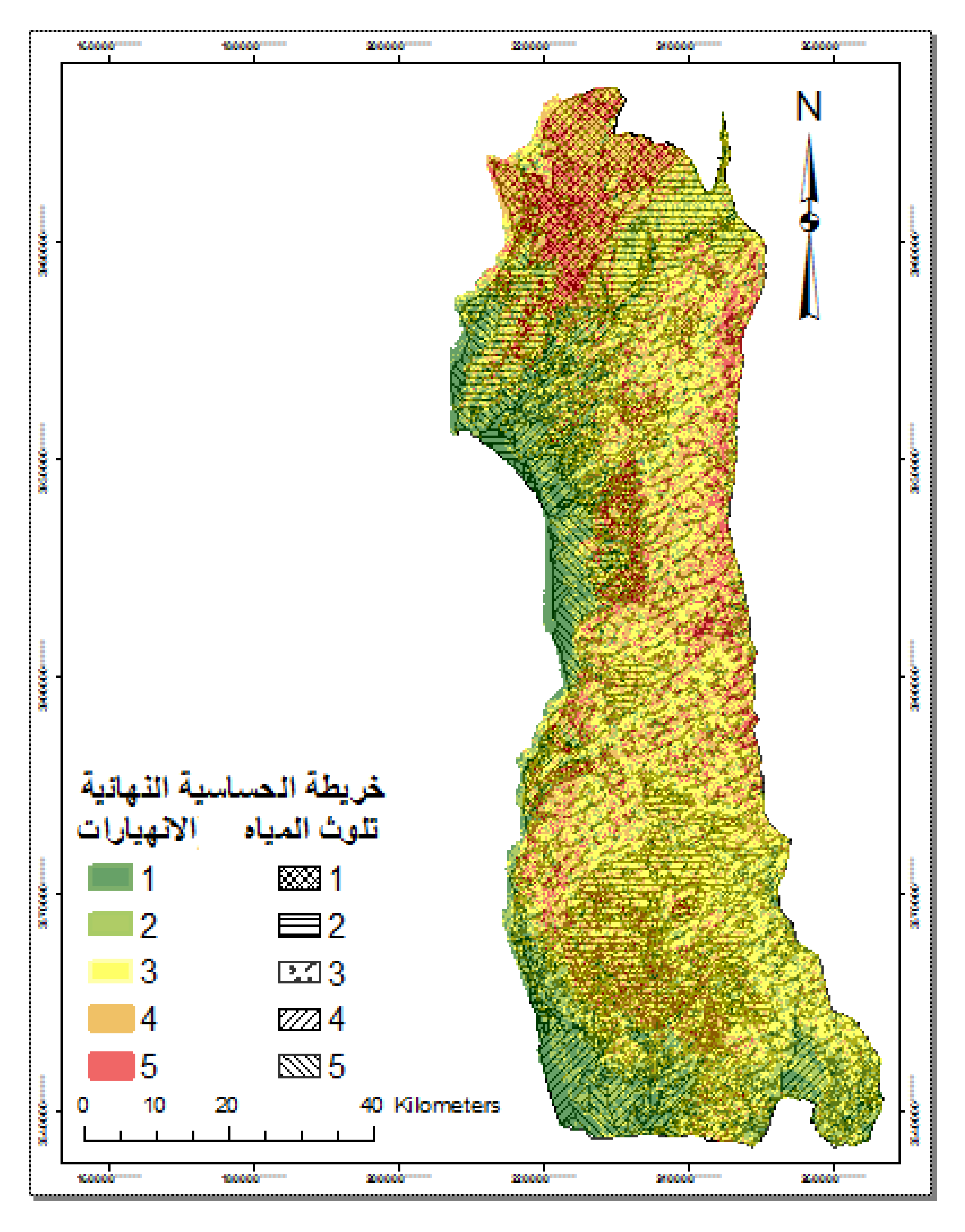
لإظهار الخريطة النهائية قمنا بإدراج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية أعلى خريطة الحساسية لتلوث المياه الجوفية، وعدلنا درجة الشفافية Transparency لها لتصبح 40% من :

Layer Properties → Display → Transparency

ثم قمنا بتحويل خريطة تلوث المياه الجوفية من Raster إلى Polygon من :

Conversion Tools → From Raster → Raster to Polygon

وباستخدام تهشير مناسب تم توضيح درجات الحساسية للخريطة النهائية الشكل (92) بشكل أرقام من 1 إلى 5 أي من منخفضة جداً إلى منخفضة فمتوسطة وأخيراً عالية وعالية جداً.



الشكل (92) خريطة الحساسية النهائية في منطقة الدراسة

3.6.2 مناقشة النتائج

3.6.2.1 مناقشة النتائج الخاصة بخريطة الحساسية لتلوث المياه الجوفية

تم في هذه الدراسة إنتاج خريطتي حساسية لتلوث المياه الجوفية، بالمقارنة بينهما نجد :

أولاً: تظهر 5 درجات في خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية اعتماداً على عمق الطبقة المائية في منطقة الدراسة الشكل (47).

- ✓ درجة الحساسية المنخفضة جداً وتشغل نسبة 9.41 % من منطقة الدراسة و تتركز في محافظة اللاذقية وتحديداً في كسب والجزء الشمالي من اللاذقية والجزء الغربي من القرداحة.
- ✓ درجة الحساسية المنخفضة وتشغل نسبة 19.27% من منطقة الدراسة تتوزع بين اللاذقية وطرطوس، وتحديداً في صافيتا من محافظة طرطوس وفي منطقة اللاذقية من محافظة اللاذقية.
- ✓ درجة الحساسية المتوسطة وتشغل نسبة 50.37 % من منطقة الدراسة وهي درجة الحساسية الغالبة في منطقة الدراسة تشغل القسم الأعظم من طرطوس وتحديداً في طرطوس والقدموس و كذلك في قسم كبير من محافظة اللاذقية وتحديداً في الحفة والقرداحة.
- ✓ درجة الحساسية العالية وتشغل نسبة 14.95% من منطقة الدراسة وتتوزع بشكل رئيسي بين غربي اللاذقية وفي الجنوب من طرطوس وتحديداً في حلبا.
- ✓ درجة الحساسية العالية جداً وتشغل نسبة 6.02% من منطقة الدراسة وهي النسبة الأقل وتتركز في جبلة من محافظة اللاذقية وكذلك إلى الغرب من مدينة اللاذقية وفي حلبا من محافظة طرطوس.

ثانياً: تظهر 5 درجات في خريطة درجات الحساسية لتلوث المياه الجوفية اعتماداً على الأعماق الاستاتيكية للآبار في منطقة الدراسة الشكل (49).

- ✓ درجة الحساسية المنخفضة جداً وتشغل نسبة 5.47 % من منطقة الدراسة و تتركز في محافظة اللاذقية وتحديداً في منطقتي كسب واللاذقية.
- ✓ درجة الحساسية المنخفضة وتشغل نسبة 45.84% ولها انتشار على معظم مساحة محافظة اللاذقية وفي طرطوس تتركز في صافيتا والقدموس.

- ✓ درجة الحساسية المتوسطة وتشغل نسبة 36.69% من منطقة الدراسة ولها توزع مركز على امتداد القسم الشرقي من منطقة الدراسة وتتركز في القدموس من طرطوس.
- ✓ درجة الحساسية العالية وتشغل نسبة 11.04% من منطقة الدراسة وتتركز في طرطوس أكثر من اللاذقية وتحديداً في القسم الجنوبي منها الذي يشمل منطقة حلبا وفي جبلة من محافظة اللاذقية.
- ✓ درجة الحساسية العالية جداً وتشغل نسبة 0.96% من منطقة الدراسة وهي النسبة الأقل. يلحظ تركزها في محافظة طرطوس وتحديداً في حلبا منها.

نتيجة المقارنة نجد أن امتداد درجتي الحساسية العالية والعالية جداً في الخريطة الأولى أوسع من امتداديهما في الخريطة الثانية وهو امتداد منطقي لأنه يتركز على شاطئ الساحل ويتقاطع مع درجات الحساسية الأعلى لأربع عوامل وهي وسط التربة والميل والتوصيل الهيدروليكي ومعدل التغذية، لذا اعتمدنا الخريطة الأولى كمؤشر أعلى دقة من الخريطة الثانية لحساسية لتلوث المياه الجوفية.

ومن النتائج نجد أن درجة الحساسية الغالبة هي المتوسطة بالتالي فالساحل السوري ذو درجة حساسية متوسطة لتلوث المياه الجوفية عموماً.

في المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً يتوجب مراقبة التنوع في عمليات التنمية وكثافتها بعناية وانتباه كما يجب حماية مصادر المياه الجوفية من خلال السيطرة على أنواع الملوثات وضبطها وينصح بمعالجة المياه الجوفية في هذه المناطق ووضع خطط مراقبة دورية لها (كل خمس سنوات). نطاقات الحماية للأراضي الرطبة والمحميات الطبيعية تلعب دوراً مساعداً في حماية المياه الجوفية كونها تستبعد عمليات التنمية خارجاً ومن جهة أخرى من الضروري حماية الآبار في المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً إما ببناء ساتر ترابي قرب فوهة البئر يمنع الجريان السطحي من الوصول إلى البئر أو بتحديد موقع البئر بحيث يكون بعيداً عن الجريان السطحي ولا يسمح له ببلوغ مياه البئر وإلا فلا يجب استخدام أي نوع من الملوثات وتحديداً المبيدات الحشرية ضمن نطاق حماية حول البئر قدره 30.480 متراً (100 قدم).

3.6.2.2 مناقشة النتائج الخاصة بخريطة الحساسية للانهيارات الأرضية

تم في هذه الدراسة إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية وفيها 5 درجات للحساسية

- ✓ درجة الحساسية المنخفضة جداً وتشغل نسبة 11.02% من منطقة الدراسة و تتركز على امتداد شاطئ الساحل وتحديداً في مدينة جبلة من اللاذقية.

- ✓ درجة الحساسية المنخفضة وتشغل نسبة 22.14% من منطقة الدراسة وهي النسبة الأكبر تتوزع بين القسم الغربي من اللاذقية (مدينتي جبلة واللاذقية) والقسم الجنوبي من طرطوس (حلبا).
- ✓ درجة الحساسية المتوسطة وتشغل نسبة 37.38% من منطقة الدراسة ولها توزع منتظم على امتداد المنطقة.
- ✓ درجة الحساسية العالية وتشغل نسبة 22.15% من منطقة الدراسة حيث تتوزع على كامل المنطقة وتتركز في منطقة صافيتا من محافظة طرطوس وفي كسب والقرداحة من محافظة اللاذقية.
- ✓ درجة الحساسية العالية جداً وتشغل نسبة 7.31% من منطقة الدراسة وهي النسبة الأقل، يلحظ تركزها في أقصى الشرق من منطقة الدراسة حيث المرتفعات الجبلية وتحديداً في كسب وفي منطقة اللاذقية من محافظة اللاذقية.

تم اختيار مجموعة مختلفة من نقاط الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة لتحقيق العمل وعددها 15 موقعاً، فكانت درجة الحساسية لخمسة مواقع منها عالية جداً ولتسعة مواقع عالية وحصلنا على موقع وحيد ذو درجة حساسية متوسطة، بالتالي كانت نسبة نجاح عملية التحليل ونموذج الحساسية لحدوث الانهيارات الأرضية الناتج مساوية لـ 93% باعتبار أن درجة الحساسية المتوسطة تمثل فشلاً وعليه فالنتيجة ممتازة.

من النتائج نجد أن درجة الحساسية الأعلى في المنطقة المدروسة هي المتوسطة لكنها ليست أعلى من باقي النسب بفارق كبير لذا فإن الحساسية في الساحل السوري للانهيارات الأرضية متوسطة إلى حد ما.

بما أن الميل هو العامل الأكثر أهمية فالقيود التنموية كالمتطلبات والشروط الخاصة عند تصميم الإنشاءات توضع على أساس نسب الميل العالية (من 18% حتى 25%) والعالية جداً (أكبر من 25%) ودرجات الحساسية العالية والعالية جداً للانهيارات الأرضية، بالتالي يتوجب إحاطة المناطق ذات نسب الميل العالية أو درجات الحساسية العالية بنطاق حماية أمثلي قدره 15.25 متراً (50 قدماً) بالإضافة إلى حرم حول الأبنية فيها مساو إلى 4.572 متراً (15 قدماً) ويمكن تصغير أو تكبير النطاق أو الحرم استناداً إلى الظروف الخاصة بالموقع وطبيعة الخطر، أما عندما تزداد نسبة الميل عن 25% أو تكون درجة الحساسية للانهيارات الأرضية في المنطقة عالية جداً فمن الأفضل استبعاد أي عملية تنموية فيها.

نورد أدناه الجدول (43) الذي يبين مقارنة نتائج درجات الحساسية المختلفة لتلوث المياه الجوفية والانهيارات الأرضية في المدن الساحلية ربطاً مع ما تمت دراسته في البحث.

الجدول (43) مقارنة نتائج درجات الحساسية في المدن الساحلية

اسم المدينة	درجة الحساسية لتلوث المياه الجوفية	درجة الحساسية للانهيارات الأرضية
طرطوس	**متوسطة**	**منخفضة جداً إلى منخفضة (جنوباً) متوسطة إلى عالية (شمالاً)**
صافيتا	**منخفضة إلى متوسطة**	**متوسطة إلى عالية**
بانياس	**متوسطة إلى عالية**	**متوسطة إلى عالية**
قدموس	**متوسطة**	**متوسطة**
كسب	**منخفضة جداً**	**عالية إلى عالية جداً**
حلبا	**عالية إلى عالية جداً**	**منخفضة جداً إلى منخفضة**
جبلة	**عالية إلى عالية جداً**	**منخفضة جداً إلى منخفضة**
القرداحة	**متوسطة**	**عالية إلى عالية جداً**
اللاذقية	**منخفضة إلى متوسطة عالية إلى عالية جداً (غرباً)**	**منخفضة إلى متوسطة عالية إلى عالية جداً في أقصى الشمال وأقصى الشرق**

المقترحات والتوصيات

في ختام البحث نجد ضرورياً التقدم بالمقترحات والتوصيات التالية:

1. وفرت تقنية نظم المعلومات الجغرافية بيئة فعالة للتحليل، وقدرات عالية في التعامل مع الكم الكبير من البيانات المكانية، وبالنظر إلى النتائج، يبرز نموذج DRASTIC كأداة يمكن استخدامها من قبل السلطات الوطنية، وصانعي القرار خاصة في المناطق الزراعية التي تستخدم المواد الكيميائية والتي تمثل الاحتمال الأكبر لتلوث موارد المياه الجوفية.
2. القيام بدراسات يمكن من خلالها الحصول على البيانات المتعلقة بطبيعة صخور الخزان الجوفي في إقليم الساحل.
3. الاستفادة من خريطة الحساسية في عملية تخطيط استخدامات الأراضي المستقبلية في إقليم الساحل السوري، فليس جائزاً القيام بأي مشاريع إنشائية قرب المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً إلا بالرجوع إلى جهة الاختصاص من أجل القيام بالدراسات اللازمة حتى يتم إعطاء التراخيص للمشاريع التي تلتزم بالمواصفات والمعايير السورية بعيداً عن هذه المناطق.
4. دراسة اتجاهات إضافية مختلفة فيما يخص مفهوم الحساسية، ومقاطعتها مع البحث بهدف إنشاء أطلس حساسية كامل للإقليم الساحلي.
5. الاستفادة من البحث في وزارات الدولة (وزارة السياحة، وزارة المواصلات، وزارة البيئة، وزارة الإسكان ، وزارة المواصلات، وزارة الزراعة) ومؤسساتها من أجل تحديد إمكانيات منح تراخيص الإنشاء للمشاريع على تنوعها تبعاً لدرجة الحساسية في المنطقة المطلوب إنشاء المشروع فيها ومدى تأثيره عليها.
6. تطوير العمل المنسق بين تقنيات الاستشعار عن بعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية بهدف الوصول إلى خرائط حساسية ذات دقة عالية.
7. نشر الوعي البيئي في أوساط المجتمع من خلال وسائل الإعلام بهدف توعية الناس بمخاطر الانهيارات الأرضية والبناء العشوائي لتفادي وقوع أضرار وخسائر مادية وبشرية تؤدي إلى صعوبة مواجهة الدولة لمثل هذه الكوارث بسبب عدم توفر الإمكانيات المناسبة لذلك .
8. إعداد خرائط الحساسية لتلوث المياه الجوفية في القطر وتحديداً في المناطق النشطة على تنوعها.

9. وضع خطة إستراتيجية لإقليم الساحل لمنع التلوث والإضرار بصحة المواطنين.

10. تنفيذ مشاريع بنية تحتية لتزويد الساحل بمياه جوفية آمنة صحياً كبناء محطات المعالجة المحلية لمصادر المياه ذات التكلفة القليلة في إقليم الساحل وتحديداً في المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً مثل مدينتي جبلة وحلبا.

11. إنشاء قنوات تصريف لمياه الأمطار لمنعها من الوصول إلى الكتل الصخرية القابلة للسقوط.

12.تفتيت وتكسير الكتل الصخرية التي تهدد الأبنية المتواجدة أسفل المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً للانهيارات الأرضية بطرق فنية حديثة لتفادي الإضرار بتلك المناطق كونها مزدحمة بالسكان.

13.عدم زيادة الأحمال في المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً للانهيارات الأرضية كالبناء على المنحدرات أو فوق المساكن المتواجدة فيها.

14. تعد عملية إنتاج خرائط السواحل من أهم تطبيقات تقنية Lidar وهي واحدة من أحدث تقنيات الاستشعار عن بعد، لذا من الممكن الاستفادة منها في إنتاج خرائط عالية الدقة فيما يخص الحساسية للانهيارات الأرضية كما في العديد من دول العالم.

المراجع الأجنبية

[1] Countryside Agency& Natural Heritage Scottish - Techniques and Criteria for Judging Capacity and Sensitivity 2002.

[2] UNEP &WHO - Scientific Criteria for The Evaluation of Pollution Sensitive Areas in The Mediterranean Countries 2003.

[3] H. A. Effat and M. N. Hegazy - A GIS-Based Tool for Mapping a Coastal Highway’s Sensitivity Index: A Case Study of The Mediterranean Coastal Highway in Egypt 2007.

[4] NEMA - Environmental Sensitivity Atlas for the Albertine Graben 2009.

[5] H. R. Pourghasemi, Biswajeet Pradhan, Candan Gokceoglu and K. Deylami Moezz - Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed 2012.

[6] The Minnesota Department of Natural Resources - Groundwater Pollution Sensitivity 2014.

[7] Noël I. Osborn and Ray H. Hardy - Statewide Groundwater Vulnerability Map of Oklahoma 1999.

[8] Ahmad Al-Hanbali & Akihiko Kondoh - Jordan, Groundwater Vulnerability Assessment and Evaluation of Human Activity Impact (HAI) within The Dead Sea Groundwater Basin 2006.

[9] Hamid Reza Pourghasemi, Abbas Goli Jirandeh, Biswajeet Pradhan,Chong Xu and Candan Gokceoglu - Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province 2012.

[10] IOP Science - Spatial Probabilistic Approach on Landslide Susceptibility Assessment from High Resolution Sensors Derived Parameters 2014.

المراجع العربية

[11] ابراهيم سعود الشويعي، أسماء علي أبا حسين، وليد خليل زياري – تقييم قابلية خزان الدمام الجوفي للتلوث الناتج عن الأنشطة السطحية في مملكة البحرين باستخدام طريقة الدراستك وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية 2014.

[12] د. محمد الفرجات، الجيولوجية منى الحياري، الجيولوجية أشجان الهندي– تصميم خرائط رقمية للحساسية المكانية ضد عوامل التلوث البيئي في محافظة المفرق.

[13] د. وائل عبدالله ابراهيم – البيئة رؤية جغرافية لأهم قضاياها ومشكلاتها، الفصل الخامس: قضايا بيئية مهمة 2008.

المواقع الالكترونية

- http://www.reefnet.gov.sy/agri/Syrian_Soil_Kinds.htm
- http://www.researchgate.net/
- http://www.academia.edu/
- http://edcommunity.esri.com/
- http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/EUDASM.htm
- http://www.jennessent.com
- http://www.geonet.org.nz

ABSTRACT

A great development in GIS software have been occurred in the last decades of twentieth century. GIS applications have been spread widely in most areas due to their diversity, great benefits and multiple potentials and abilities.

The development of GIS was accompanied by human society awareness for Earth protection topics, in particular, those related to sensitivity concept. The sensitivity definitions and trends (economic, social, environmental, ….) in addition to their serious effects on human and living organisms must be clearly identified and necessary actions should be considered. Currently, establishing sensitivity ATLAS has become the main target of various countries because of increasing scientific interests.

In this research, GIS software for sensitivity analysis and necessary queries have been investigated. We have examined two fields of sensitivity in the Syrian Coast, the sensitivity of groundwater pollution and landslides sensitivity, using Geographic Information Systems based on "DARSTIC" technique and statistical method in order to produce the final sensitivity map including five degrees of sensitivity over the study area.

UNIVERSITY OF ALEPPO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

This thesis has been submitted in partial fulfillment of the requirement for Master of Engineering degree in Topographic Engineering at the Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo.

Candidate
Eng. Lama Moualla
(   )

Certificate

Hereby, I certify that this work described in this thesis is the result of author's own investigations under the supervision of **Dr. Sonia Sarkis** Associate Professor**,** Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo and **Dr. Iyad Abbas** Instructor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University. All references of this research has been acknowledged in the text.

Candidate
Eng. Lama Moualla

Supervisors

Assoc. Prof. Sonia Sarkis **Dr. Iyad Abbas**

Date 9 / 8 / 2015

UNIVERSITY OF ALEPPO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

"DECLARATION"

Hereby, I declare that this work "***The Using of Geographic Information Systems to Establish Sensitivity Mapping ATLAS for Coastal Cities***" has not been accepted for any degree, nor is it being submitted at present for any other degrees.

Candidate
Postgraduate Student
Lama Moualla
(   )

SYRIAN ARAB REPUBLIC
UNIVERSITY OF ALEPPO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF TOPOGRAPHIC ENGINEERING

The Using of Geographic Information Systems to Establish Sensitivity Mapping ATLAS for Coastal Cities

Thesis submitted for partial fulfillment of MSc. degree in Civil Engineering (Topographic Engineering)

By

Eng. Lama Moualla

Supervisors

Associate Professor
Dr. Sonia Sarkis
Department of Topographic Engineering
Faculty of Civil Engineering - Aleppo University

Instructor
Dr.Iyad Abbas
Department of Topographic Engineering
Faculty of Civil Engineering –Tishreen University

$\frac{1436H}{2015\ CE}$




SYRIAN ARAB REPUBLIC
UNIVERSITY of ALEPPO
FACULTY of CIVIL ENGINEERING
DEPARTEMENT of TOPOGRAPHIC ENGINEERING

The Using of Geographic Information Systems to Establish Sensitivity Mapping ATLAS for Coastal Cities

Thesis submitted for partial fulfillment of MSc. Degree
in Civil Engineering (Topographic Engineering)

By

Eng. Lama Maalla

Supervisors

Assossiate Professor	Instructor
Dr. Sonia Sarkis	**Dr. Ayad Abbas**
Department of Topographic Engineering Civil Engineering-Aleppo University	Department of Topography Engineering Civil Engineering-Tishreen University

Aleppo - 2015

SYRIAN ARAB REPUBLIC
UNIVERSITY of ALEPPO
FACULTY of CIVIL ENGINEERING
DEPARTEMENT of TOPOGRAPHIC ENGINEERING



The Using of Geographic Information Systems to Establish Sensitivity Mapping ATLAS for Coastal Cities

Thesis submitted for partial fulfillment of MSc. Degree in Civil Engineering (Topographic Engineering)

By

Eng. Lama Maalla

Supervisors

Assossiate Professor	Instructor
Dr. Sonia Sarkis	**Dr. Ayad Abbas**
Department of Topographic Engineering	Department of Topographic Engineering
Civil Engineering-Aleppo University	Civil Engineering-Tishreen University

Aleppo - 2015